

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

«На правах рукопису»
УДК 621.951.45

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ В.А.Пасічник
(підпис)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

на тему: Свердло з напайною твердосплавною пластиною

Виконав (-ла): студент (-ка) б курсу, групи МІ-71мп

Чміль Роман Євгенович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник проф. д.т.н Майборода Віктор Станіславович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

_____ (назва розділу)

_____ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент проф. д.т.н. доц. Воронцов Борис Сергійович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 20__ року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет)) Механіко-машинобудівний

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 8.05050302 Інструментальне виробництво

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А.Пасічник
(підпис)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Чміль Роман Євгенович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Свердло з напайною твёрдосплавною пластиною,

науковий керівник дисертації проф. д.т.н. Майборода Віктор Станіславович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Свердло з напайною твёрдосплавною пластиною

4. Предмет дослідження Характер зміни кутів свердла від периферії до центру

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Виконати розрахунок зміни передніх кутів вздовж різальної кромки; 2. Виконати розрахунок зміни задніх кутів вздовж різальної кромки; 3. Виконати розрахунок зміни товщини зрізуваного шару

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Титульний слайд, вступ, слайди «Конструкція та геометрія спіральних свердел», слайди «Геометрія різальної частини», технологія виготовлення, стартап проект, висновки.

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації*

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| | Аналіз геометрії передньої поверхні свердел | 1.11.17 | |
| | Розрахунок геометрії свердел з радіусною формою різальної частини | 25.05.18 | |
| | Розробка технології виробництва свердла з напайною твердосплавною пластиною | 26.10.18 | |
| | Розробка стартап проекту | 1.12.18 | |
| | | | |
| | | | |

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

Анотація

Розглянуто форми різальних частин спіральних свердел, які використовуються в сучасному машинобудуванні.

Розраховані зміни передніх, задніх кутів та товщини зрізуваного шару, для свердел з радіусною формою різальної частини та свердел зі зворотнім кутом при вершині вздовж різальної кромки.

Встановлено, що свердло з радіусною формою різальної частини з радіусом при вершині 8 мм, має найсприятливіші геометричні параметри.

Розроблено технологію для виготовлення свердла, з оптимізацією його виробництва.

Розроблено стартап-проект ідеї даного свердла.

Ключові слова: свердло спіральне, твердосплавна пластинка, геометрія свердла.

Summary

The forms of the cutting parts of the spiral drills, which are used in modern mechanical engineering, are considered.

The changes of the front, rear angles and the thickness of the cutting layer, for drills with a radius shape of the cutting part and the drill with an angle with the apex along the cutting edge.

It is established that the drill with a radius shape of the cutting part with a radius at an apex of 8 mm has the most favorable geometric parameters.

A technological tool for manufacturing a drill with optimization of its production has been developed.

A startup project of the idea of this drill was developed.

Key words: drill spiral, carbide plate, drill geometry.

Зміст

| | |
|---|----|
| Вступ | 4 |
| 1. Вплив форми інструменту на геометрію спірального свердла | 5 |
| 1.1 Форми різальної частини спіральних свердл | 5 |
| 1.2 Геометрії передньої поверхні спіральних свердл | 7 |
| 1.2.1 Геометрія передньої поверхні спірального свердла | 7 |
| 1.2.2 Свердла з радіусною формою різальної кромки | 10 |
| 1.2.3 Свердла зі зворотнім кутом при вершині | 12 |
| 1.3 Мета та задачі дослідження | 13 |
| 2. Розробка конструкції спірального свердла з напайною твердосплавною пластиною та радіусною формою різальної частини | 15 |
| 2.1 Геометрія передньої поверхні свердла з плоскою передньою поверхнею | 15 |
| 2.2 Геометрія передньої поверхні свердла зі зворотнім кутом при вершині | 19 |
| 2.3 Геометрія задніх поверхонь свердла з напайною твердосплавною пластиною. | 22 |
| 2.4 Зміна товщини зрізуваного шару | 27 |
| 3. Технологічна система | 30 |
| 3.1 Розрахунок припусків на механічну обробку | 30 |
| 3.2 Розрахунок режимів різання | 33 |
| 3.3 Технологічні процеси виготовлення спірального свердла | 37 |
| 3.4 Технологія на виготовлення корпусу спірального свердла | 62 |
| 4. Розроблення Start-up проекту | 66 |
| 4.1 Опис ідеї проекту | 66 |
| 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту | 67 |
| 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту. | 69 |
| Основні висновки | 79 |

| | |
|--------------------------------|----|
| Список використаної літератури | 80 |
| Додатки | 82 |

Вступ

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку промисловості окреслюється високим рівнем автоматизації виробництва. Автоматизоване виробництво викликає високі вимоги до працездатності та надійності інструменту. Найбільш трудомістким і з цього актуальними є обробка отворів. Спіральне свердло відноситься до найбільш розповсюджених видів різального інструменту.

З часів винаходу спіральних свердел основною проблемою є вдосконалення конструкції різальної частини. Недостатність конструкцій стандартних свердел призводить до різкої зміни геометричних параметрів різальної частини, особливо це стосується геометрії передньої поверхні.

Введення прогресивних конструкцій свердел впливає на зміну геометрії різальних кромek, шляхом зміни кутів вздовж різальної частини. Завдяки таким конструкціям можливе підвищення продуктивності роботи, шляхом підвищення стійкості інструменту.

Мета і задачі дослідження. Підвищення продуктивності свердління отворів у латунних та алюмінієвих сплавах, за рахунок зміни геометричних параметрів свердла.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Виконати аналіз характеру зміни передніх кутів вздовж різальної кромки.
2. Виконати аналіз характеру зміни задніх кутів вздовж різальної кромки.
3. Виконати аналіз характеру зміни кута в плані

Об'єкт дослідження – Свердло з напайною твердосплавною пластиною

Предмет дослідження – Характер зміни кутів від периферії до центру різальної частини свердла

Методи дослідження – Для розрахунку зміни геометрії свердла використовувалось програмне забезпечення MathCad

Практичне значення – Підвищення стійкості свердла за рахунок зміни геометрії.

Особистий внесок – Розроблено методи підвищення стійкості свердла, та розробка технологічного маршруту.

1. Вплив форми інструменту на геометрію спірального свердла

1.1 Форми різальної частини спіральних сверدل

Спіральне свердло, як найрозповсюджений представник осьових інструментів має найбільше поширення в промисловості. Але його геометрія не є досконалою. В них, доволі, різко змінюються передні кути вздовж різальної кромки в діапазоні від $+30^\circ$ на периферії до -30° біля поперечної кромки, тим самим навантажуючи периферійну точку та, відповідно зношення інструменту. Через це і потребується покращення та введення нових форм свердел.

Параметр товщини зрізуваного шару не є останнім у впливі на роботу та стійкість свердел. При конструкції свердла з радіусною формою різальною частиною товщина зрізу зменшується від центру свердла тим самим зменшується тиск на периферійну точку свердла і через це стійкість свердла збільшується. В той час, як у стандартній конструкції свердла товщина зрізу зменшується від периферії до центру, таким чином найбільше навантаження приходить на периферійну точку, від чого стійкість свердла не достатньо велика. На стійкість свердла також впливає швидкість різання на периферійній точці. На свердлі стандартної конструкції найбільша швидкість різання приходить на периферійну точку, що разом з найбільшою товщиною зрізу, що впливає на стійкість інструменту. В той час, як у свердла з радіусною формою різальної частини найбільше значення швидкості різання приходить на центральну частину свердла. Разом з цим найбільша товщина зрізуваного шару також приходить на центр свердла, що позитивно відображається на стійкості інструменту.

Багато дослідників приходили до позитивних результатів при обробці отворів з різними формами різальних кромок. Деякі свердла характеризуються збільшеними кутами при вершині, що зменшують амплітуду коливань передніх кутів γ_N вздовж різальної кромки, бо в них

нормаль до поверхонь різання менше змінює напрямок при переході від однієї точки різальної кромки до іншої.

Аналіз багатьох літературних джерел і результатів досліджень показав, що для кожного випадку застосування свердл, є можливість підвищити стійкість, шляхом оптимізації конструкції та геометрії, тим самим підвищити стійкість в 1,5...3 рази[1 3 4 6 8 10]. Це висуває задачу постійного пошуку оптимальних конструкцій для певних матеріалів і деталей в певних виробничих умовах.

З моменту винаходження спірального свердла поліпшення конструкції відбувалось різноманітними шляхами[1 3 4 6 8 10]. Найбільш розповсюдженим є дослідження впливу основних геометричних параметрів на стійкість свердл в певних умовах виробництва та розробка рекомендацій щодо вибору вірних величин цих параметрів.

Покращення геометричних параметрів різальної частини свердла досягається за рахунок підточок передньої та задньої поверхні інструмента[1]. Були розроблені рекомендації щодо підточки поперечної кромки, підточки стрічки на невелику довжину, подвійна заточка свердла і т.д. Введені області доцільного використання даних способів підточки, в першу чергу залежних від оброблюваного матеріалу та діаметру свердла. Знос спіральних свердл стандартної конструкції найбільш інтенсивно відбувається на периферії свердла. Це обумовлюється тим, що на периферійну точку приходить найбільша товщина зрізу та швидкість різання.

В середині XX століття почалося інтенсивне дослідження по зміні геометрії свердла та завантаження різних точок різальної кромки. В ході досліджень були розроблені конструкції інструментів з покращеним характером зміни геометричних параметрів та завантаження різальної кромки, до них відносять свердла з «радіусною» заточкою, «безперемичні» зі збільшеним кутом при вершині, з подвійною заточкою і т.д.

Приведений аналіз покращення конструкцій спірального свердла показує, що жоден з них не направлений на вирішення задачі щодо виробництва свердел, знос яких не залежав від діаметра свердла. Створення

таких свердл підвищить ефективність оброблення отворів, а шляхи розробки можуть бути передбачені на основі досліджень та розробок по покращенню робочих частин свердла різноманітних конструкцій.

1.2 Геометрії передньої поверхні спіральних свердл

1.2.1 Геометрія передньої поверхні спірального свердла

Для визначення передніх кутів різальної кромки свердла будемо вважати відомими такі величини: діаметр серцевини свердла d ; діаметр свердла D ; кут нахилу гвинтової канавки ω та кут при вершині свердла 2ϕ .

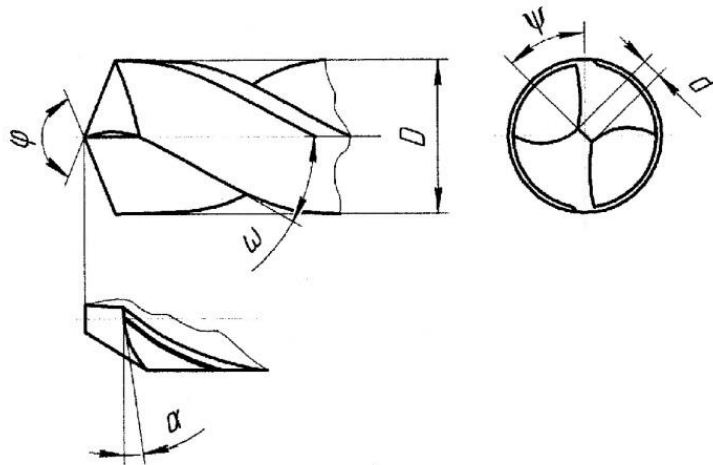


Рисунок 1.1 Різальна частина стандартного спірального свердла

Відомо, що передні кути свердла при вимірюванні змінюються вздовж різальних кромок від периферії до осі свердла, значення кутів зменшуються і досягають від'ємних значень біля центральної зони інструменту. Як відомо, передній кут у нормальному перерізі проходить між нормаллю до поверхні різання і площиною, дотичною передньої поверхні. При переміщенні вздовж різальної кромки нормаль до поверхні різання та площина, дотична до передньої поверхні змінюють своє положення, звідси і з'являється зміна передніх кутів. Положення площини, дотичної до передньої поверхні, змінюється, як гвинтові лінії канавки свердла, вісь яких збігається з віссю

свердла, мають змінний кут нахилу ω_x , який визначається за співвідношенням:

$$\operatorname{tg} \omega_x = \frac{R_x}{R} \cdot \operatorname{tg} \omega$$

Отже, площина дотична до передньої поверхні, навколо різальної кромки та при переміщенні від периферії до центру буде прагнути зайняти положення, паралельне осі інструменту. Через це відбувається зменшення кутів γ_N вздовж різальної кромки.

Значення передніх кутів γ_N , виміряних у нормальному перетині до різальної кромки, у стандартного спірального свердла буде залежати від зміни кута в плані 2ϕ , кута нахилу гвинтової канавки ω та діаметру серцевини $2d$. Результати аналізу[15] наведені на рис 1.2 та 1.3 показують, що при зміні конструктивних елементів свердла можливо впливати на значення передніх кутів γ_N у різних точках різальної кромки.

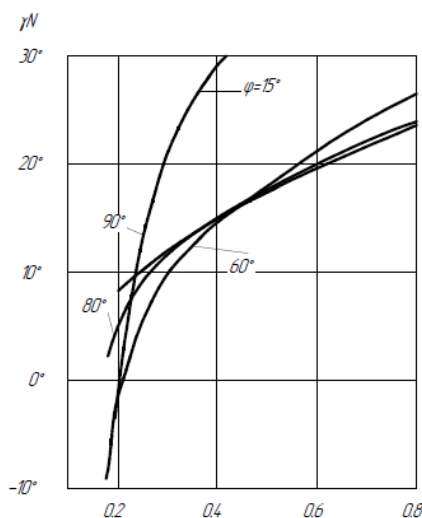


Рисунок 1.2 Графік залежності передніх кутів γ_N від кута ϕ .

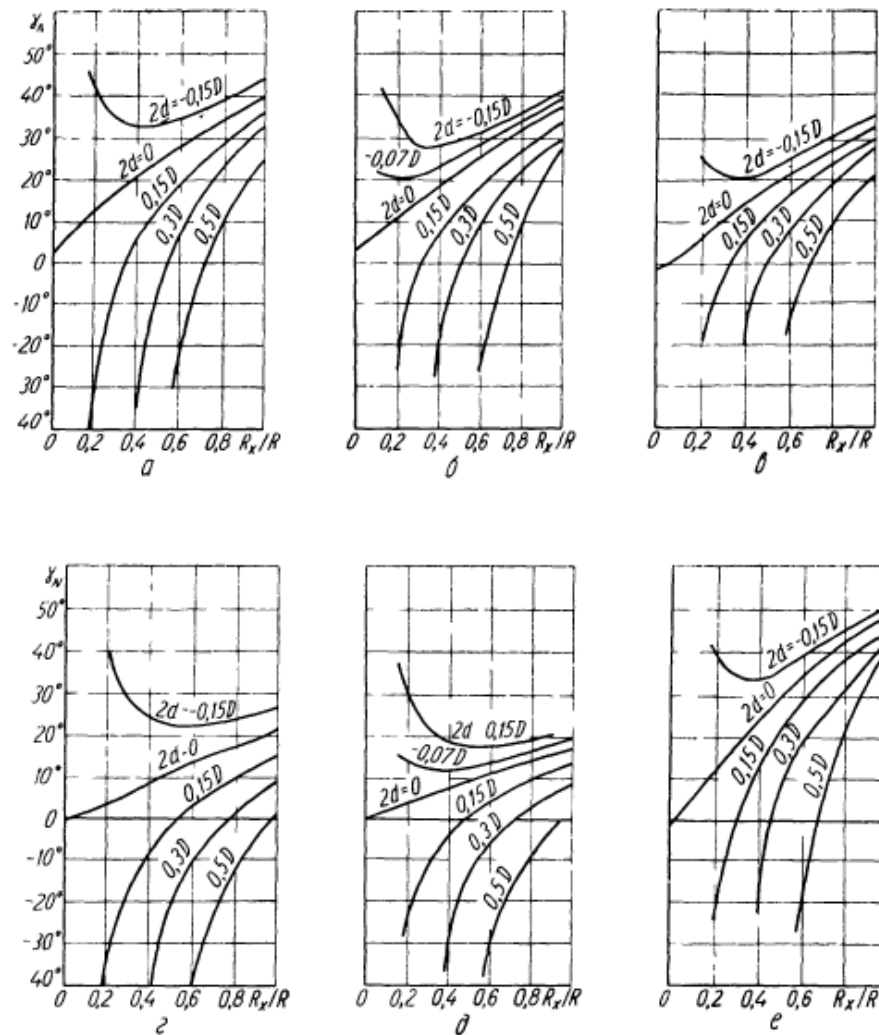


Рисунок 1.3 Вплив діаметра серцевини свердла на величини передніх кутів при:

- а) $\omega=30^\circ$; $\varphi=45^\circ$; б) $\omega=30^\circ$; $\varphi=60^\circ$; в) $\omega=30^\circ$; $\varphi=70^\circ$;
 г) $\omega=15^\circ$; $\varphi=45^\circ$; д) $\omega=15^\circ$; $\varphi=60^\circ$; е) $\omega=45^\circ$; $\varphi=60^\circ$;

Аналіз впливу конструктивних параметрів на геометрію передньої поверхні показує, що на значення γ_N можна впливати як формою різальної кромки, яка залежить від кута φ , значенням кута μ так і нахилом стружкової канавки ω . Цим зумовлюється розробка свердл різної форми і конструкції

1.2.2 Свердла з радіусною формою різальної кромки

Свердло з радіусною формою різальної кромки показано на рис. 1.4

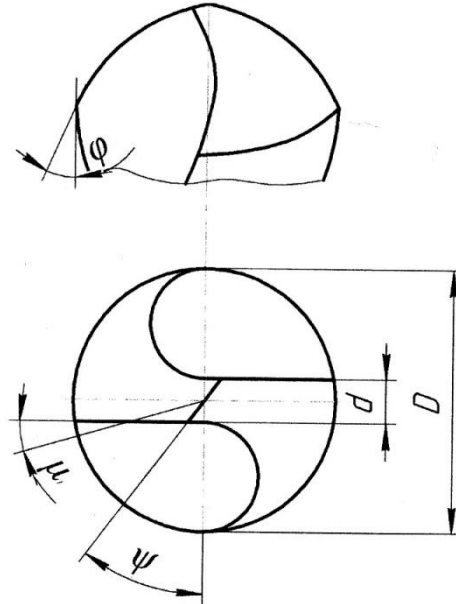


Рисунок 1.4 Свердло з радіусною формою різальної кромки

Графіки залежності передніх кутів γ_N свердла з радіусною формою різальної кромки залежності від ϕ , ω та d зображені на рисунку 1.5

Аналіз графіків показує, що у свердл з радіусною формою різальної кромки через вибір певних величин кутів при вершині ϕ , нахилу гвинтової канавки ω та діаметру серцевини d можна зменшити область зміни передніх кутів вздовж різальної кромки.

Такі свердла мають більші кути, як в центральній зоні, так і на периферії, що підвищує стійкість свердла відносно стандартного свердла.

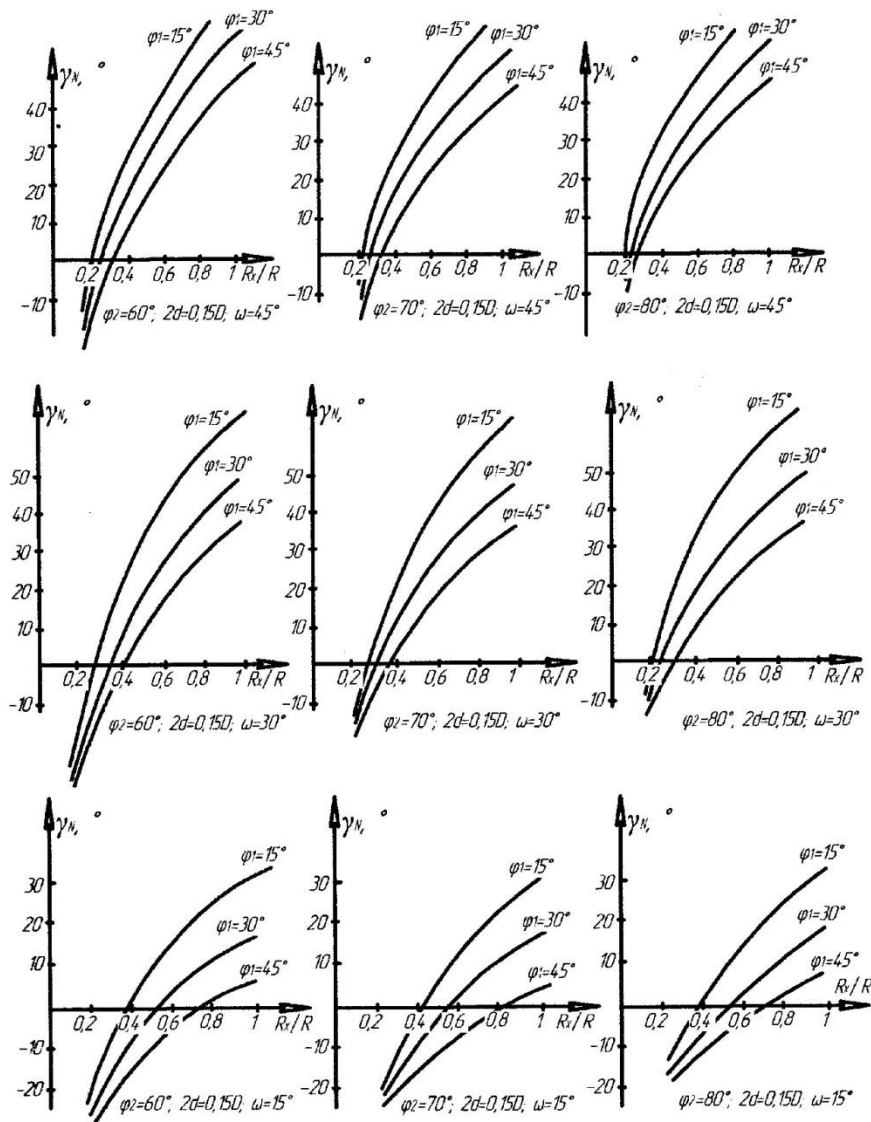


Рисунок 1.5 Вплив конструктивних елементів свердла на величини передніх кутів свердла з радіусною формою різальної кромки

Одним з напрямків покращення геометрії передньої поверхні це розробка свердл з криволінійною або ламаною різальними кромками в перерізі перпендикулярному осі свердла.

1.2.3 Свердла зі зворотнім кутом при вершині

Свердло спіральне зі зворотнім кутом при вершині зображено на рис 1.6

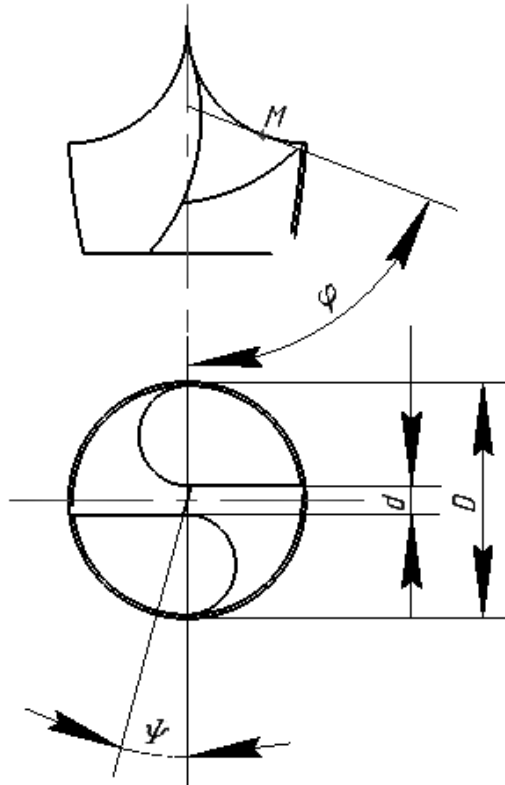


Рисунок 1.6 Свердло спіральне зі зворотнім кутом при вершині

В даному свердлі кут в плані 2φ змінний. В кожній точці різальної кромки цей кут знаходиться між дотичною до криволінійної кромки та віссю свердла.

Однак, ця конструкція свердла досить складна для виготовлення або заточки. Також при такій конструкції найбільша швидкість різання та товщина зрізу приходить на периферійну точку, що не дуже добре для обробки твердих металів, а от для обробки латуней та алюмінієвих сплавів така конструкція досить доречна. Довга різальна частина свердла потребує більшого часу для врізання в матеріал, що є поганою властивістю для обробки м'яких та крихких матеріалів.

Змінити величини передніх кутів на різальній частині свердла за рахунок викривлення різальної кромки в площині, паралельній осі свердла, практично можливо, тільки шляхом збільшення кута в плані 2φ в центральній зоні свердла до 160°...170°

1.3 Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є підвищення продуктивності свердління отворів у латунних та алюмінієвих сплавах, за рахунок зміни геометричних параметрів свердла.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Виконати аналіз характеру зміни передніх кутів вздовж різальної кромки.
2. Виконати аналіз характеру зміни задніх кутів вздовж різальної кромки.
3. Виконати аналіз характеру зміни кута в плані

2. Розробка конструкції спірального свердла з напайною твердосплавною пластиною та радіусною формою різальної частини

2.1 Конструкція спірального свердла з напайною твердосплавною пластиною

Дане свердло призначене для обробки отворів в м'яких або крихких матеріалів.

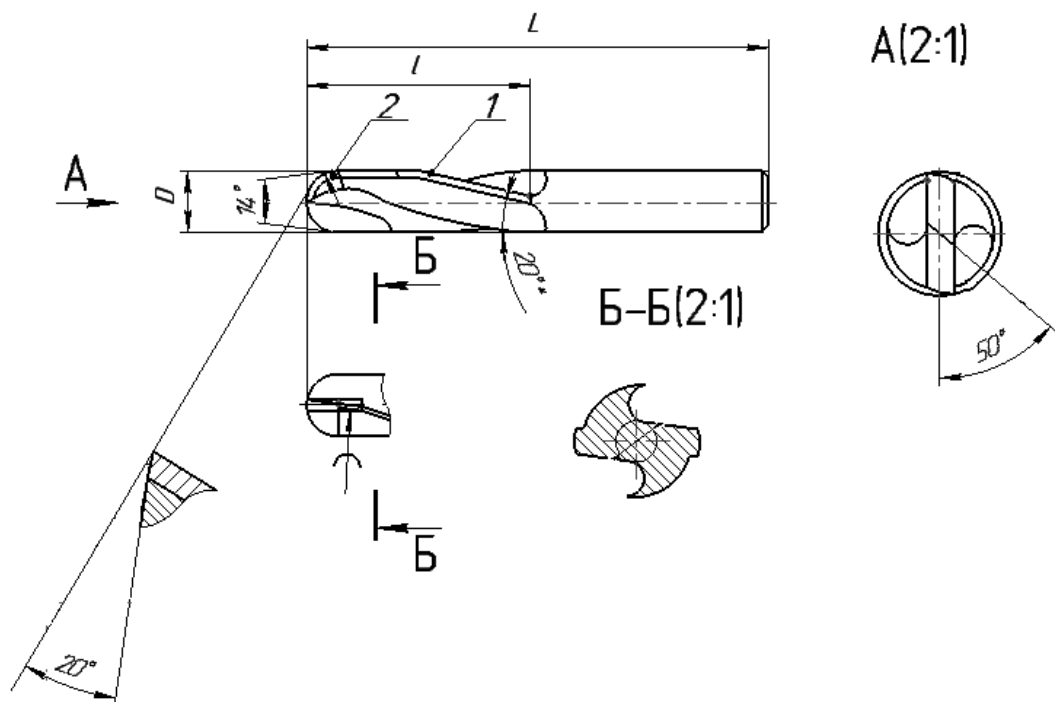


Рисунок 2.1 Свердло спіральне з напайною твердосплавною пластиною та радіусною формою різальної частини

Свердло складається з корпусу та твердосплавній пластині, яка впаяна в корпус за допомогою ПСР-40 (рис 2.1). Для виготовлення даної форми свердла необхідно мати пристосування для радіусної заточки. Свердло має гвинтові канавки, кут нахилу яких дорівнює $\omega=20^\circ$. Стрічка наявна на всій довжині різальної частини.

Серцевина свердла приймається 0,2-0,25d. Корпус свердла виготовлюється з конструкційних сталей типу: Сталь 40, Сталь 45, і т.д. Пластина виготовляється з твердого сплаву ВК8. Твердість 88-90 HRA. Шорсткість передньої поверхні та стружкової канавки повинна бути $Ra = 0,2$ мкм, задніх поверхонь $Ra = 0,8$ мкм, хвостовика $Ra = 0,8$ мкм.

Допуск биття різальних кромek не більше 0,03 мм, різальна кромка може бути зміщена щодо осі свердла не більше, ніж на 0,02 мм.

2. Геометрія передньої поверхні свердла спірального з напайною твердосплавною пластиною

2.1 Геометрія передньої поверхні свердла з плоскою передньою поверхнею

Розглянемо геометрію передньої поверхні свердла з радіусною формою різальної кромки. В даному випадку поверхня є плоскою. При такому розташуванні різальної кромки, яке визначене кутом при вершині 2φ та діаметром серцевини свердла $2d$, положення передньої площини характеризується статичним переднім кутом $\gamma_{ст}$, який визначається в нормалі до різальної кромки. В нормальному перетині розташовується вектор N_p нормалі до поверхні різання. Позначимо τ , як кут між вектором та площиною узн. В процесі різання передній кут γ_N в нормалі до різальної кромки можна визначити по формулі[18]:

$$\gamma_{ст} = 15^\circ$$

$$\gamma_N = \gamma_{ст} - \tau$$

В системі координат xuz одиничний вектор, що йде по різальній кромці записується у вигляді:

$$\bar{p} = \bar{i} \cdot \sin\varphi + \bar{k} \cdot \cos\varphi,$$

а одиничний вектор, що йде по напрямку швидкості різання:

$$\bar{V} = \bar{i} \cdot \cos\mu - \bar{j} \cdot \sin\mu$$

Вектор N_p нормалі до поверхні різання визначається, як векторний добуток векторів p і V :

$$\bar{N}_p = [\bar{V} \times \bar{p}] = \begin{bmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \\ \cos\mu & -\sin\mu & 0 \end{bmatrix}$$

Розкриваючи визначник, отримуємо:

$$\bar{N}_p = [\bar{V} \times \bar{p}] = \bar{i} \cdot \sin\mu \cdot \cos\varphi + \bar{j} \cdot \cos\mu \cdot \cos\varphi - \bar{k} \cdot \cos\mu \cdot \sin\varphi$$

Кут між вектором N_p та віссю x дорівнює $90^\circ - \tau$.

Тож, звідси отримуємо:

$$\operatorname{tg}\tau = \frac{(\bar{N}_p \cdot \bar{i})}{|[\bar{N}_p \cdot \bar{i}]|}$$

Підставляючи замість N_p та i їх координати, отримуємо:

$$\operatorname{tg}\tau = \operatorname{tg}\mu \cdot \cos\varphi$$

Таким чином маємо, що передній кут у нормальному до різальної кромки перерізі при плоскій передній поверхні свердла може бути розрахований за формулою:

$$\gamma_N = \gamma_{ст} - \tau$$

де

$$tg\tau = tg\mu \cdot \cos\varphi$$

З формули розрахунку величини передніх кутів в нормальному до різальної кромки перетині у випадку з плоскою передньою поверхнею свердла видно, що при збільшенні статичного переднього кута, передні кути також збільшуються в процесі різання. При чому при збільшенні переднього статичного кута, збільшується передній кут на таку ж саму величину. Передні кути свердла з плоскою передньою поверхнею також залежать від величини кута при вершині та діаметру серцевини свердла. Зростання кута φ відповідно призводить до зменшення кута τ . Тому у свердла з більшими кутами при вершині спостерігаються менші зміни переднього кута вздовж всієї різальної кромки.

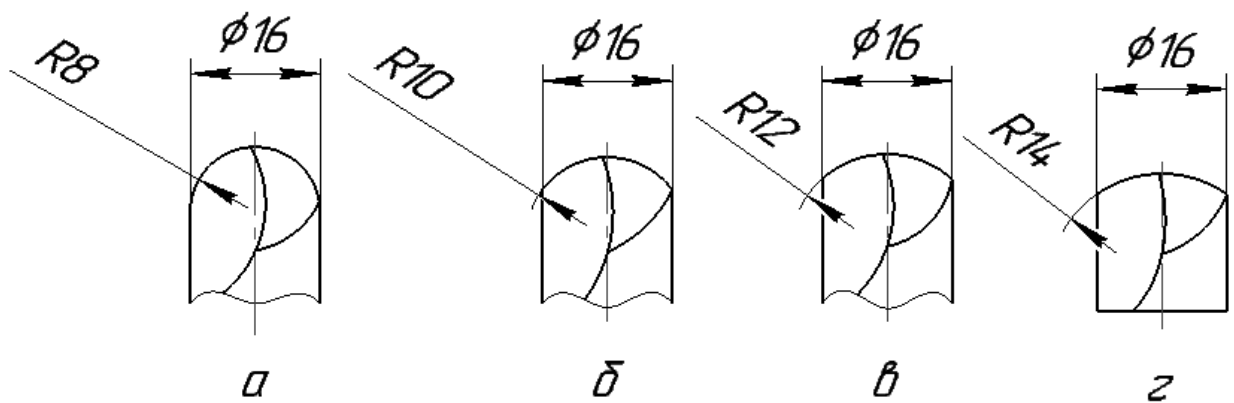


Рисунок 2.2 Форми радіусної заточки свердел

- а) Свердло з радіусом різальної частини 8 мм;
- б) Свердло з радіусом різальної частини 10 мм;
- в) Свердло з радіусом різальної частини 12 мм;
- г) Свердло з радіусом різальної частини 14 мм.

В цих свердлах змінюється значення радіусної форми різальної частини, діаметр свердла залишається незмінним

За результатами розрахунків кутів вздовж всієї різальної кромки (Додатки Б, В, Г, Д), були побудовані графіки зміни передніх кутів свердла спірального за напайною твердосплавною пластиною з радіусною заточкою, кутів різальної кромки

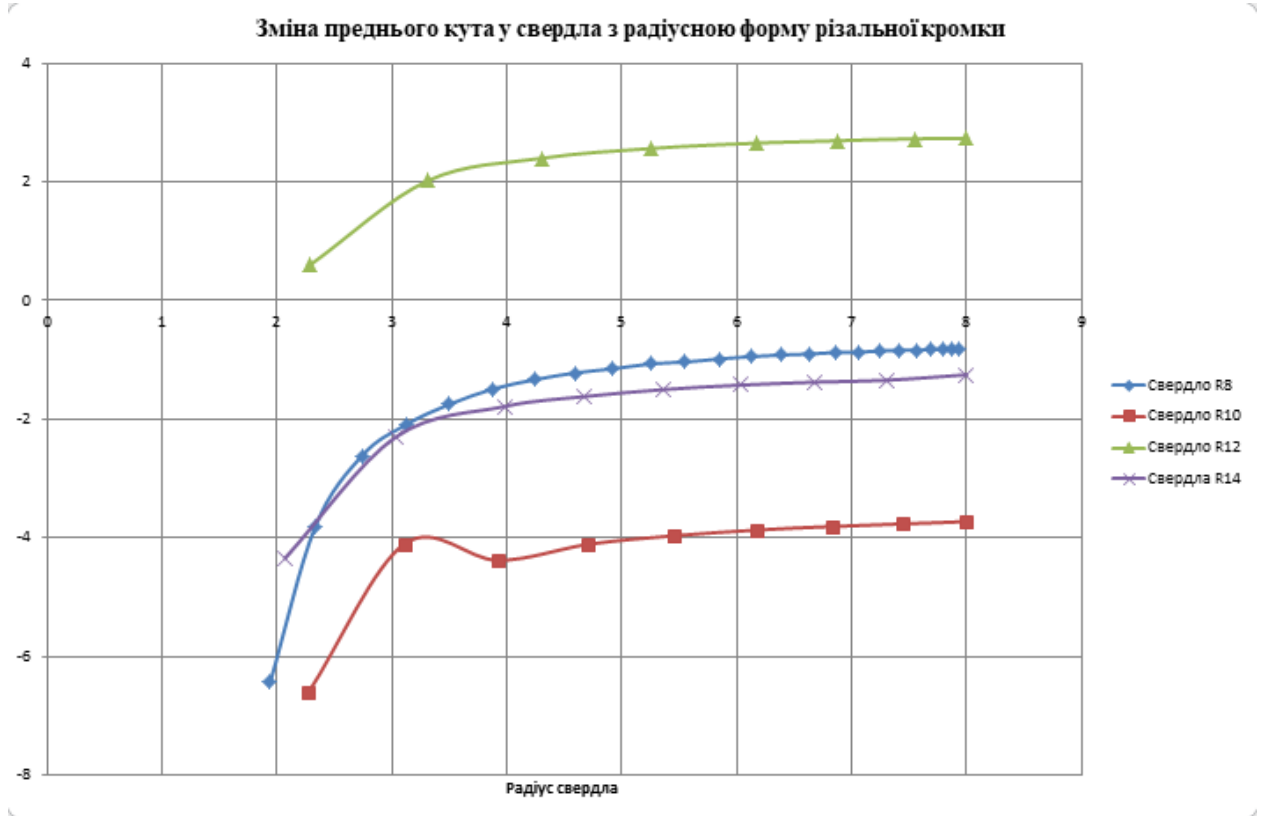


Рисунок 2.3 Зміна передніх кутів у свердла з напайною пластиною та радіусною формою різальної частини

Виходячи з графіку, маємо, що в свердлах з радіусною різальною частиною передні кути змінюються від периферії свердла до центру, але зміна відбувається завдяки зміні кута при вершині 2ϕ .

Розглянемо зміну передніх кутів серед всіх представлених видів конструкції свердел, відносно стандартної конструкції свердла.

Свердло R8. Виходячи з графіку бачимо, що в даного свердла найбільша зміна значення переднього кута, при цьому всі ці значення знаходяться в діапазоні від'ємних значень від $-6,434^\circ$ до $-0,81^\circ$. В даному типі свердла зміна кутів відбувається досить поступово, що добре відображається на стані свердла. На відміну від стандартної конструкції свердла, в якому

зміна переднього кута відбувається від -30° до $+30^{\circ}$, а також ця зміна відбувається від центру свердла до периферії, на яку приходить найбільша сила різання.

Свердло R10. З результатів дослідження видно, що в даному свердлі значення переднього кута змінюється не дуже плавно, всі значення також знаходяться у від'ємних значеннях переднього кута від $-6,614^{\circ}$ до $-3,724^{\circ}$. В цьому свердлі з'являється «сходинка» в значеннях переднього кута, вона може вплинути на подальшу експлуатацію свердла. На відміну від стандартної конструкції свердла, дане свердло має більшу стійкість за рахунок радіусної форми різальної частини.

Свердло R12. На графіку видно, що передні кути в даному свердлі знаходяться в додатній зоні значень від $0,608^{\circ}$ до $2,735^{\circ}$. Дане свердло також має поступову зміну переднього кута. Такий тип свердла дуже добре себе покаже при обробці крихких матеріалів. Завдяки своїй формі свердло має перевагу на свердлом стандартної конструкції, через покращене центрування та більшу стійкість.

Свердло R14. Видно, що дане свердло за зміною передніх кутів вздовж різальної кромки схоже на свердло R8. Передні кути змінюються у діапазоні від'ємних значень від $-4,341^{\circ}$ до $-1,243^{\circ}$. Зміна переднього кута відбувається плавно, без різких перепадів. В порівнянні зі стандартною конструкцією спірального свердла також отримує периферійну точку, але дякуючи зміні переднього кута від периферії до центру, має більшу стійкість.

2.2 Геометрія передньої поверхні свердла зі зворотнім кутом при вершині

Розглянемо зміну переднього кута свердла зі зворотнім кутом при вершині. При даному типу конструкції передній кут задаємо, як статичний $\gamma_{ст}$, який визначається в нормальному до різальної кромки перерізі.

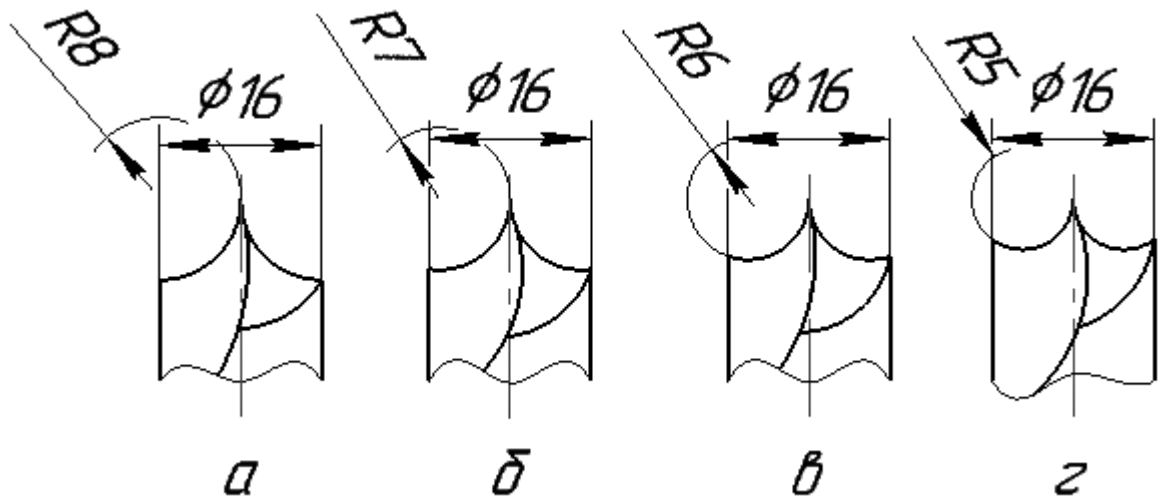


Рисунок 2.4 Зміна радіусів на свердлах зі зворотнім кутом при вершині

- а) Свердло з зворотнім кутом при вершині радіусом 8 мм
- б) Свердло з зворотнім кутом при вершині радіусом 7 мм
- в) Свердло з зворотнім кутом при вершині радіусом 6 мм
- г) Свердло з зворотнім кутом при вершині радіусом 5 мм

В цих свердлах змінюється радіус різальної кромки та збільшення периферійної точки. Діаметр свердла залишається незмінним.

За результатами розрахунків передніх кутів вздовж різальної кромки (Додатки Е, Є, Ж, З) було побудовано графіки зміни передніх кутів вздовж різальної кромки, свердла зі зворотнім кутом при вершині.

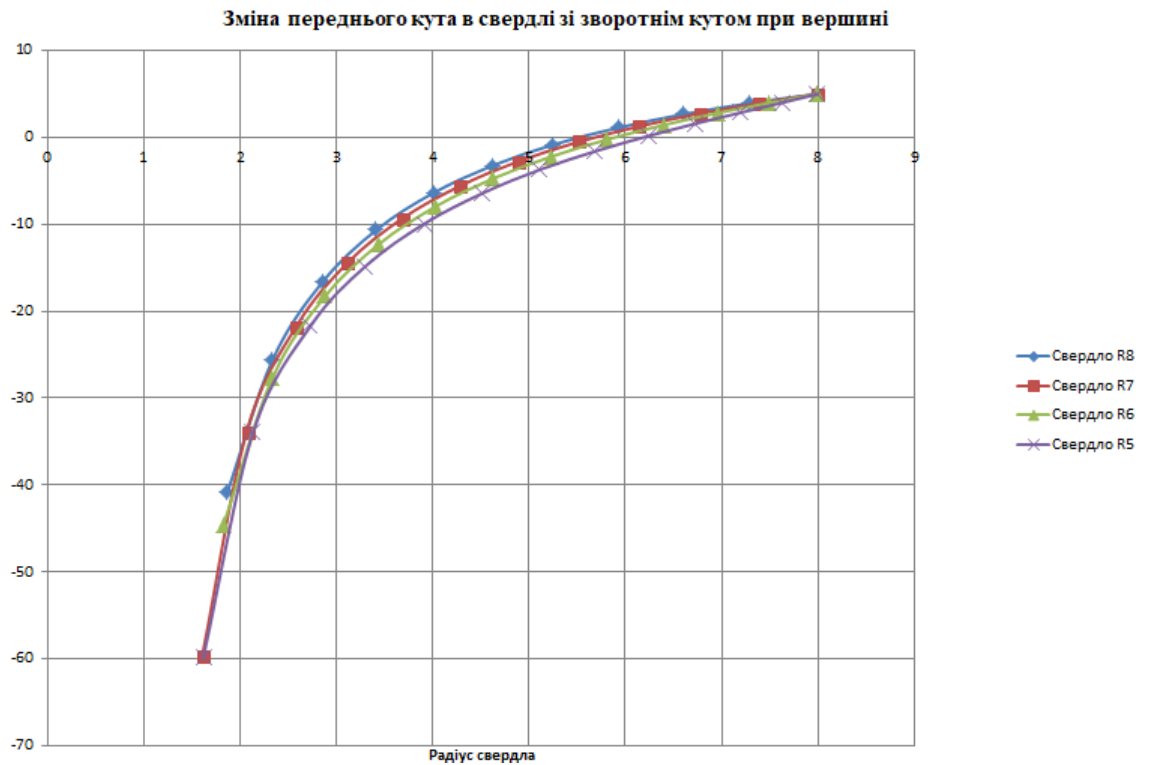


Рисунок 2.5 Зміна передніх кутів у свердла зі зворотнім кутом при вершині

Проаналізувавши графіки (рис. 2.4), робимо висновок, що передні кути γ_N вздовж різальної кромки мають змінне значення від від'ємних до додатних, а також що вони доволі сильно змінюються вздовж різальної кромки, зміна відбувається завдяки зміні кута при вершині 2ϕ .

Розглянемо зміну передніх кутів серед всіх представлених видів конструкції свердел, відносно стандартної конструкції свердла.

Свердло R8. В даному свердлі найменша зміна кутів з усіх представлених даного типу. Зміна відбувається як і в свердлах зі стандартною конструкцією, але завдяки своїй конструкції, таке свердло більше підходяще для м'яких матеріалів. Зміна передніх кутів відбувається в діапазоні від $-40,82^\circ$ до 5° .

Свердло R7. При такій конструкції зміна передніх кутів відбувається суттєво в діапазоні від $-59,545^\circ$ до 5° . Зміна кутів відбувається плавно від центру до периферійної точки, як і у спіральному свердлі стандартної конструкції

Свердло R6. В даному свердлі зміна кутів має середні значення. Зміна передніх кутів відбувається поступово, в діапазоні від $-44,531^\circ$ до 5° . Передні кути змінюються від центру свердла до периферії, як і у спірального свердла стандартної конструкції.

Свердло R5. Зміна передніх кутів схожа на свердло з R7, також має суттєву зміну значень від $-59,778^\circ$ до 5° . Зміна передніх кутів відбувається, як і у спіральних свердл стандартної конструкції від центру свердла до периферії.

2.3 Геометрія задніх поверхонь свердла з напайною твердосплавною пластиною.

Задній кут α в досліджуваній точці різальної кромки визначається положенням двох площин: R – дотичною до задньої поверхні та P – дотичною до поверхонь різання. При дослідженні геометрії свердла задні кути α можливо вимірювати в різних січних площинах.

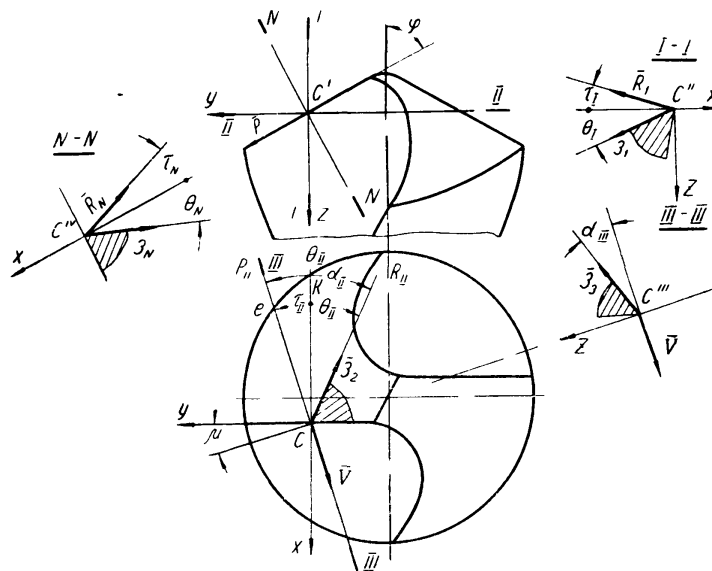


Рисунок 2.6 Знаходження задніх кутів свердла в різних площинах

Задні кути на свердлах можуть задаватися також в січних, дотичних до круглих циліндричних поверхонь концентричної осі свердла. Знаючи задні

кути в одній з січних, знайдемо їх величини в інших перерахованих січних. Розглядаючи цю задачу, задній кут в досліджуваній точці розглядати, як суму двох кутів[19]:

$$\alpha = \theta + \tau$$

Площину Q, яка ділить задній кут α на два кути θ та τ , проведемо через різальну кромку перпендикулярно до площини.

Записуючи в векторно- скалярному вигляді проведення векторів отримуємо:

$$\begin{vmatrix} 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\cos \theta_N & -\sin \theta_N \cos \varphi & \sin \theta_N \sin \varphi \\ -\cos \theta_I & 0 & \sin \theta_I \end{vmatrix} = 0.$$

Розкриваючи визначники, отримаємо формулу, яка зв'язує кути φ , θ , θ_N . Звідси отримуємо:

$$\operatorname{tg} \theta_i = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_i - \sin \mu_i}{\cos \varphi_i}$$

Виконавши перетворення отримаємо:

$$\begin{vmatrix} 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\cos \theta_I & 0 & \sin \theta_I \\ -\cos \alpha_{III} \cos \tau_{II} & \cos \alpha_{III} \sin \tau_{II} & \sin \alpha_{III} \end{vmatrix} = 0.$$

Розкривши визначник і виконавши перетворення маємо:

$$\operatorname{tg} \alpha_{III} = \frac{\operatorname{tg} \theta_N \cos \tau_{II}}{\sin \varphi} + \sin \tau_{II} \operatorname{ctg} \varphi.$$

Звідси знайдемо значення кута θ_N :

$$\operatorname{tg} \theta_N = \operatorname{tg} \theta \cdot \cos \varphi_i$$

Завдяки цьому рівнянню можемо знайти величину зміни заднього кута вздовж різальної кромки:

$$tg\alpha_i = \frac{tg\theta_N \cdot \cos\mu_i}{\sin\varphi_i} + \sin\mu_i \cdot ctg\varphi_i$$

За результатами розрахунку задніх кутів вздовж різальної кромки (Додатки Б, В, Г, Д) були побудовані графіки зміни задніх кутів свердла з радіусною формою різальної частини.

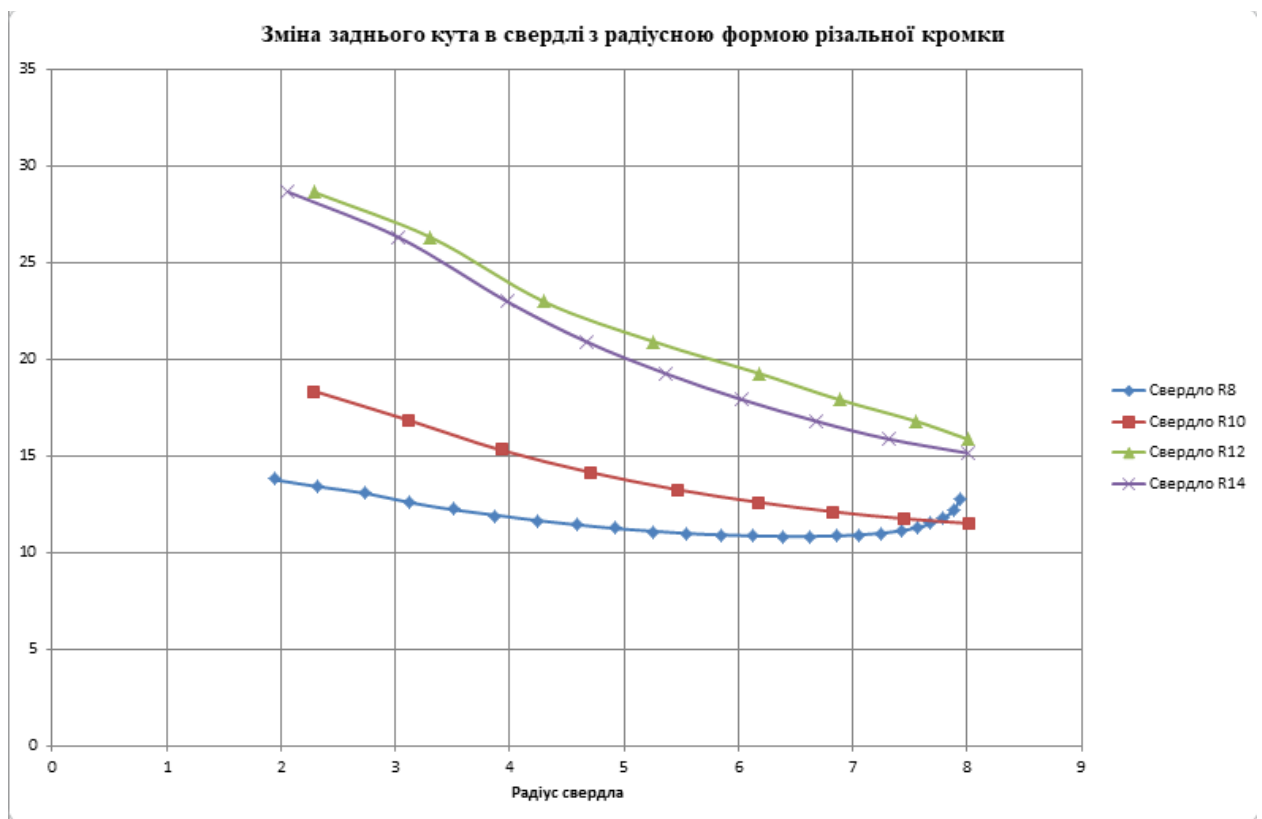


Рисунок 2.7 Зміна задніх кутів свердла з радіусною формою різальної частини

Виходячи з графіку, бачимо, задні кути вздовж різальної кромки мають додані значення, а також вони майже не змінюють своїх значень вздовж різальної кромки, але зміна відбувається завдяки зміні кута при вершині 2φ . Це все має сприятливі умови для процесу різання.

Розглянемо зміну задніх кутів серед всіх представлених видів конструкції свердел.

Свердло R8. З усіх наведених конструкцій дане свердло має найменші значення. Зміна задніх кутів відбувається поступово в діапазоні значень від $13,746^{\circ}$ до $10,817^{\circ}$

Свердло R10. Дане свердло має найбільш плавну зміну задніх кутів серед решти свердел. Значення змінюються в діапазоні значень від $18,365^{\circ}$ до $11,502^{\circ}$. Відносно попереднього свердла значення дещо збільшились.

Свердло R12. Це свердло має найбільше значення задніх кутів та найбільш різку зміну значень кутів. Зміна значень задніх кутів відбувається в діапазоні значень від $24,913^{\circ}$ до $13,139^{\circ}$.

Свердло R14. Дане свердло по зміні кутів досить схоже на попереднє, в ньому також досить великі значення кутів та має достатньо різку зміну. Значення змінюються в діапазоні від $28,614^{\circ}$ до $15,131^{\circ}$.

Також, після аналізу задніх кутів вздовж різальної кромки (Додатки Е, Є, Ж, З) були побудовані графіки зміни задніх кутів свердла зі зворотнім кутом при вершині

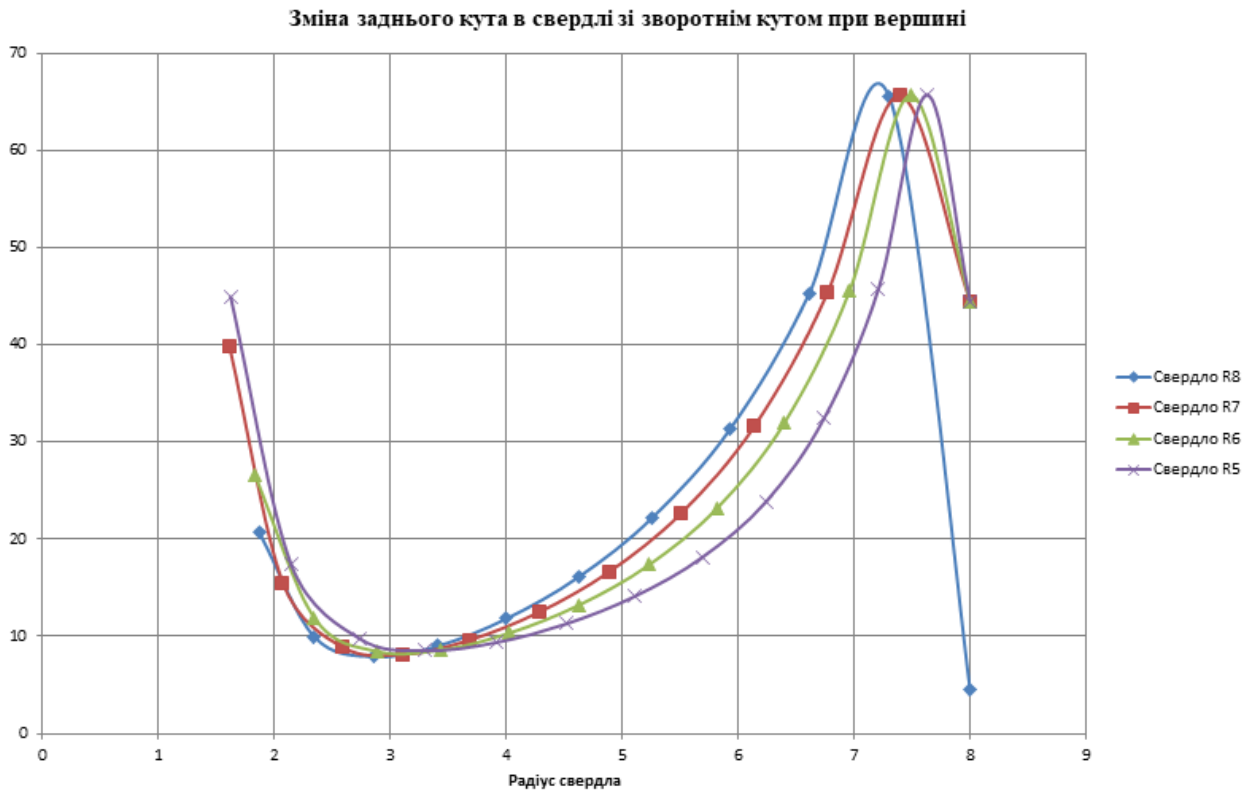


Рисунок 2.8 Зміна задніх кутів у свердлі зі зворотнім кутом при вершині

Виходячи з графіку, бачимо, задні кути вздовж різальної кромки мають додані значення, а також вони майже не змінюють своїх значень вздовж різальної кромки, але зміна відбувається завдяки зміні кута при вершині 2ϕ . Це все має сприятливі умови для процесу різання.

Розглянемо зміну задніх кутів серед всіх представлених видів конструкції свердел.

Свердло R8. В такій конструкції свердла зміна відбувається від периферії до центру свердла, як видно з графіку з периферійної точки, кути зменшуються, але після певного значення різко збільшується, а біля центру різко спадає.

Свердло R7. Зі збільшенням периферійної точки, збільшується задній кут в даній точці, потім задні кути починають зменшуватись до певного значення далі стрімке зростання задніх кутів та при наближенні до центру різкий спад.

Свердло R6. При даній конструкції периферійна точка стає ще більшою, від цього й збільшується задній кут на периферії свердла. Далі

задні кути поступово зменшуються до певної величини, а наближаючись до центру свердла відбувається різке спадання значення заднього кута.

Свердло R5. В цій конструкції також як і в інших збільшується периферійна точка, звідси і високе значення заднього кута. Також зменшується поступово до певного значення, далі поступово зростає. При приближенні до центру свердла відбувається різкий спад значення заднього кута.

2.4 Зміна товщини зрізуваного шару

Параметр товщини зрізуваного шару не є останнім у впливі на роботу та стійкість свердел. При конструкції свердла з радіусною формою різальною частиною товщина зрізу зменшується від центру свердла тим самим зменшується тиск на периферійну точку свердла і через це стійкість свердла збільшується. В той час, як у стандартній конструкції свердла товщина зрізу зменшується від периферії до центру, таким чином найбільше навантаження приходить на периферійну точку, від чого стійкість свердла не достатньо велика.

Товщина зрізу розраховується за формулою:

$$a = \frac{S}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{ctg \varphi_i}{\cos \mu_i}}}$$

Проаналізувавши формули будуюмо графіки за даними (Додатки Б, В, Г, Д)

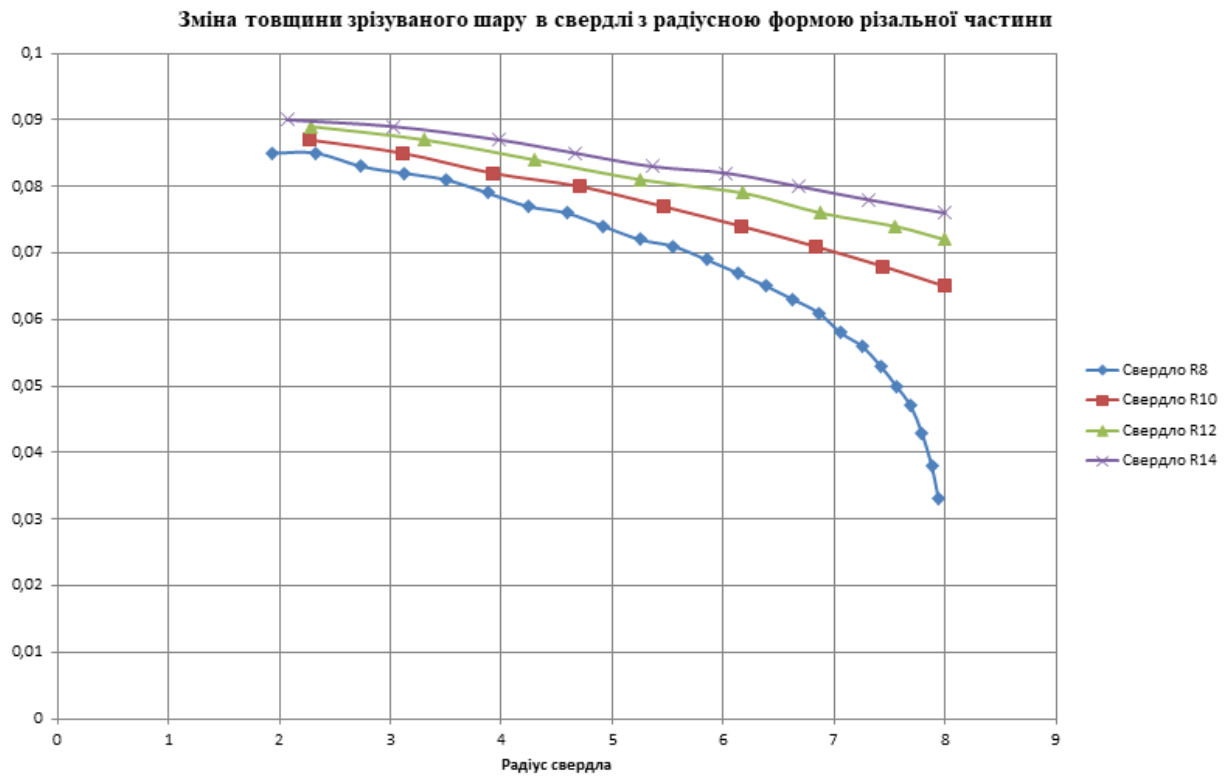


Рисунок 2.6 Зміна товщини зрізаного шару на свердлі з радіусною формою різальної частини

На графіках проілюстровано, як змінюється товщина зрізу на свердлах з радіусною формою різальної кромки. Видно, що товщина зрізу зменшується від центру свердла до периферії. Згідно з даними конструкціями свердл, можна зробити висновок, що свердло R8 має найбільш оптимізований даний параметр відносно стандартної конструкції свердла. Завдяки такій формі різальної частини відбувається найменший тиск на периферійну точку, відповідно підвищується стійкість.

Після підрахунку товщини зрізу (Додатки Е, Є, Ж, З) були побудовані графіки зміни товщини зрізу на свердлі зі зворотнім кутом при вершині.

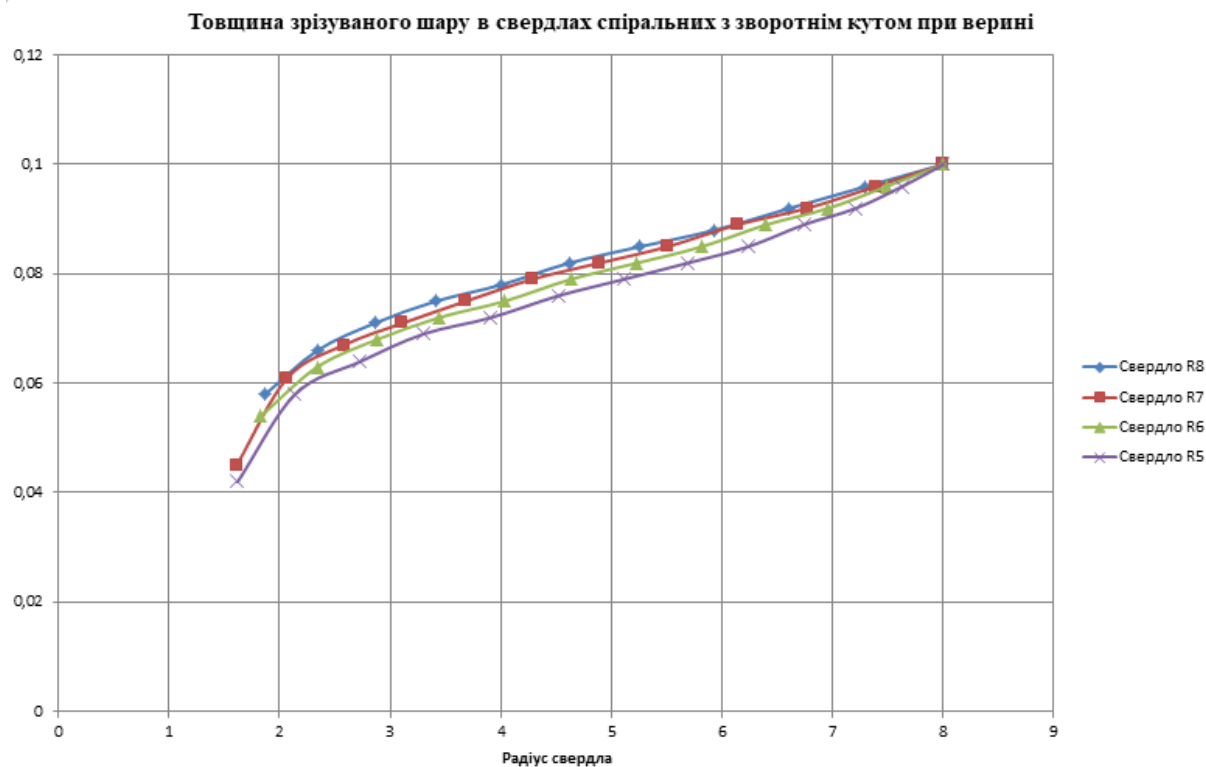


Рисунок 2.7 Зміна товщини зрізу на свердлі зі зворотнім кутом при вершині

Виходячи з графіку видно, що товщина зрізу змінюється, як і на стандартній конструкції змінюється від периферійної точки до центру свердла. Але така конструкція свердла має свої плюси, тобто для обробки м'яких сплавів добре підходить, тому що краща центровка свердла та більший час входу в тіло заготовки.

Висновки: Виходячи з вище наведених огляду та аналізу конструкцій інструменту маємо, що найкраще підходить для обробки латуней та алюмінієвих сплавів свердло з твердосплавною пластиною та радіусною формою різальної частини радіусом 8 мм.

3 Технологічна система

3.1 Розрахунок припусків на механічну обробку

Зробимо розрахунок припусків на механічну обробку поверхні свердла довжиною 160 мм з метою визначення оптимального діаметру заготовки;

Заготовку для свердла одержуємо з гарячекатаного прокату, матеріал заготовки — сталь 45 ДСТУ 4543-80

Поверхня $\varnothing 20$ піддається наступним операціям: чорновому чистовому точінню, а також круглому шліфуванню. Базування й установка заготовки відбувається в центрах.

Розрахунок припусків [11].

Припуск на чорнове точіння визначається по формулі:

$$2Z_{1\min} = 2(R_{zi-1} + h_{i-1} + \Delta_{ei-1})$$

де R_{zi-1} — висота шорсткості заготовки, мкм;

$$R_{zi-1} = 150 \text{ мкм};$$

h_{i-1} — глибина дефектного шару заготовки, мкм;

$$h_{i-1} = 250 \text{ мкм};$$

Δ_{ei-1} — просторове відхилення, мкм;

$$\Delta_{ei-1} = \Delta_k \cdot 0,5;$$

де Δ_k - питома кривизна заготовки, мкм/мм;

$$\Delta_k = 4 \text{ мкм/мм};$$

l - довжина заготовки, мм;

$$l = 120 \text{ мм};$$

$$\Delta_{ei-1} = 4 \cdot 120 / 2 = 240 \text{ мкм}$$

$$2Z_{1\min} = 2(150 + 250 + 240) = 1280 \text{ мкм};$$

При чистовому точінні припуск дорівнює:

$$2Z_{2\min} = 2(R_{zi-1} + h_{i-1} + \Delta_{ei-1})$$

$$\Delta_{ei-1} = \Delta_k \cdot 0,5$$

$$\Delta_{ei-1} = 0,24 \cdot 120 / 2 = 14,4 \text{ мкм}$$

$$2Z_{2\min} = 2(120 + 120 + 14,4) = 508,8 \text{ мкм};$$

При круглому шліфуванні припуск дорівнює:

$$2Z_{3\min} = 2(30 + 30) = 120 \text{ мкм};$$

Загальний припуск на обробку:

$$2Z_{\text{заг (min)}} = 2Z_{1\min} + 2Z_{2\min} + 2Z_{3\min} = 1280 + 508,8 + 120 = 1908,8 \text{ мкм}$$

Таблиця 3.1 - Розрахунок припусків на обробку поверхні свердла $\varnothing 16$ по технологічних переходах (заготовка з гарячекатаного прокату)

[illegible]

Найменший граничний розмір заготовки:

$$d_{xe} = 16,025 + 2,85 = 16,875 \text{ мм};$$

Приймаємо розмір заготовки по стандарту

$$d_{xe} = \varnothing 18 \text{ мм}$$

Найменший розмір заготовки:

$$d_{xe \min} = \varnothing 18_{-0,7} = 17,3 \text{ мм}$$

Загальний припуск дорівнює:

$$2Z_{заг}^{\max} = 3,44$$

$$2Z_{заг}^{\min} = 2,85$$

Зробимо перевірку зроблених розрахунків

$$2Z_{заг}^{\max} - 2Z_{заг}^{\min} = T_{вих.заг} - Td_{дет}$$

$$3,44 - 2,85 = 1,100 - 0,013$$

$$1,087 = 1,087$$

3.2 Розрахунок режимів різання

Токарна

Обточування робочої частини свердла.

Матеріал – Сталь 45

Інструмент – різець прохідний Т15К6 ГОСТ 18868-73

Глибина різання – 1 мм

Подача: $S = 8 = 0,5 \dots 0,9 \text{ мм/об}$ [стор.266, табл. 11 [2]].

Розраховуємо величину швидкості різання

$$V_{дон} = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot S^y \cdot t^x}$$

$$C_v = 420; m = 0.2; y = 0.2; x = 0.15; (\text{табл. 17 [2]})$$

T - період стійкості різця, T = 60 хв;

K_v - поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання,

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi lv} \cdot K_{rv} \cdot K_{qv} \cdot K_{ov}$$

$K_{\phi lv} \cdot K_{rv} \cdot K_{qv}$ - для даних умов не враховуються.

K_{mv} - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу

$$K_{mv} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{750}{750} \right)^{0.3} = 1$$

K_{nv} - поправочний коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки,

$$K_{nv} = 0.76$$

K_{uv} - поправочний коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента,

$$K_{uv} = 1.0$$

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 0.76 = 0.76$$

$$V_{don} = \frac{420 \cdot 0.76}{60^{0.2} \cdot 0.8^{0.2} \cdot 1^{0.2}} = 147.17 \text{ м/хв}$$

Розрахункове значення частоти обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot v_n}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 147.17}{\pi \cdot 72} = 937.4 \text{ хв}^{-1}$$

Швидкість різання

$$V = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{1000} = \frac{\pi \cdot 937.4 \cdot 72}{1000} = 174.172 \text{ м/хв}$$

$$S_{\min} = 147.17 \text{ мм/хв}$$

$$\text{Тоді } P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 1 \cdot 0.8^{0.75} \cdot 147.14^{-0.15} \cdot 0.76 = 912 \text{ Н}$$

Потужність, затрачувана на точіння

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60} = \frac{912 \cdot 147.17}{61200} = 2.2 \text{ кВт}$$

Токарна

Точіння робочої частини в Ø16

Матеріал - Сталь 45

Інструмент - різець фасонний ВК6

Глибина різання 5мм

Подача : $S=0,4...0,8\text{мм/об}$

Розраховуємо величину швидкості різання

$$V_{\text{дон}} = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot S^y \cdot t^x}$$

$C_v = 243$; $m = 0,2$; $y = 0,4$; $x = 0,15$;

T - період стійкості різця, $T = 60$ хв;

K_v - поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання,

$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi lv} \cdot K_{rv} \cdot K_{qv} \cdot K_{ov} \cdot K_{\phi lv} \cdot K_{rv} \cdot K_{qv}$ - для даних умов не

враховуються.

K_{nv} - поправочний коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки,

$$K_{nv} = 0.76$$

K_{uv} - поправочний коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента,

$$K_{uv} = 0.85$$

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 0.85 = 0.85$$

$$V_{\text{дон}} = \frac{243 \cdot 0.85}{60^{0.2} \cdot 0.8^{0.2} \cdot 5^{0.2}} = 78.22 \text{ м / хв}$$

Розрахункове значення частоти обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot v_n}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 78.22}{\pi \cdot 63} = 498.2 \text{ хв}^{-1}$$

Швидкість різання

$$V = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{1000} = \frac{\pi \cdot 498.2 \cdot 63}{1000} = 76.8 \text{ м / хв}$$

$$S_{\text{min}} = 76.8 \text{ мм / хв}$$

$$\text{Тоді } P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 5^{0.15} \cdot 0.8^{0.75} \cdot 76.8^{-0.15} \cdot 0.85 = 1431.8 \text{ Н}$$

Потужність, затрачувана на точіння

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60} = \frac{1431.8 \cdot 76.8}{61200} = 1,8 \text{ кВт}$$

Фрезерна.

Фрезерування стружечних канавок.

Матеріал - Сталь 45

Інструмент - фреза торцева насадна Р6М5 Ø120 ГОСТ 9304-69

Глибина різання 3,5мм.

Подача : S = 0,1...0,06мм/об

Розраховуємо величину швидкості різання

$$V_{\text{дон}} = \frac{C_v \cdot Dq}{T^m \cdot S_z^y \cdot t^{xv} \cdot z^{pv}} K_v$$

$$C_v = 53; m = 0.33; y = 0.2; x = 0.3; q = 0.45; u = 0.1; p = 0.1$$

T - період стійкості різця, T = 120 хв;

K_v - поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання,

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi lv} \cdot K_{rv} \cdot K_{qv} \cdot K_{ov}$$

$K_{\phi lv} \cdot K_{rv} \cdot K_{qv}$ - для даних умов не враховуються.

K_{nv} - поправочний коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки,

$$K_{nv} = 1$$

K_{uv} - поправочний коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента,

$$K_{uv} = 0,85$$

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 0.85 = 0.85$$

$$V_{\text{дон}} = \frac{53 \cdot 630,45}{120^{0.33} \cdot 0,1 \cdot 0,2 \cdot 5^{0.1} \cdot 3^{0.3} \cdot 12^{0.1}} 1 = 53,3 \text{ м/хв}$$

Розрахункове значення частоти обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot v_n}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 53,3}{\pi \cdot 120} = 269 \text{ хв}^{-1}$$

Окружна сила різання

$$P_z = 10 \frac{C_p \cdot t^{xp} \cdot S_z^y \cdot B^{up} \cdot z}{D^q \cdot n^w} K_p = 10 \frac{47 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 5^{0,1} \cdot 12}{120^{0,86} \cdot 269^0} 0,85 = 456 \text{ Н}$$

Потужність, затрачувана на точіння

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{78,3 \cdot 53,3}{61200} = 0,07 \text{ кВт}$$

3.3 Технологічні процеси виготовлення спірального свердла

Для вибору ряду типових технологічних процесів був використаний заводський технологічний процес, а також процеси з літературних джерел.

Вимоги до виготовлення свердла

- A₁ – Твердість робочої частини
- A₂ – Зворотня конусність робочої частини
- A₃ – Осьове биття різальних кромок
- A₄ – Прямолінійність різальних кромок
- A₅ – Граничне відхилення кута при вершині
- A₆ – Граничні відхилення заднього кута
- A₇ – Передній кут
- A₈ – Точність профілю гвинтової канавки
- A₉ – Точність виготовлення хвостовика
- A₁₀ – Підвищення стійкості
- A₁₁ – Торцеве биття
- A₁₂ – Шорсткість задньої поверхні
- A₁₃ – Точність радіального биття
- A₁₄ – Шорсткість направляючих стрічок
- A₁₅ – Відведення стружки
- A₁₆ – Надійність базування свердла на верстаті
- A₁₇ – Надійність кріплення свердла на верстаті
- A₁₈ – Підвищення строку служби
- A₁₉ – Зменшення матеріалоємності при виготовленні
- A₂₀ – Зменшення трудомісткості
- A₂₁ – Підвищення продуктивності

- A22 – Зниження собівартості
- A23 – Підвищення техніки безпеки та охорони праці
- A24 – Підвищення екологічної безпеки
- A25 – Зменшення енерговитрат
- A26 – Підвищення коефіцієнту використання матеріалу
- A27 – Зменшення виробничих площ
- A28 –Шорсткість хвостовика
- A29 – Шорсткість канавок
- A30 – Точність затилування
- A31 – Точність кута нахилу гвинтової канавки

Таблиця 3.2 – логічні умови та групи показників

| <i>Логічні умови</i> | <i>Групи показників</i> |
|--|-------------------------|
| A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A28, A29, A30, A31, | Технологічні |
| A15, A16, A17, A23, A24 | Експлуатаційні |
| A18, A19, A20, A21, A22, A25, A26, A27 | Економічні |

Базові маршрути виготовлення свердла

M1

- A31 Відрізати заготовки різцем
- Am1 Порізати поштучно, підрізати торці, Зацентрувати
- Am2 Обточити технологічний центр
- Am3 Обточити робочу частину з припуском на шліфовку
- Am4 Обточити хвостовик з припуском на шліфовку
- Am5 Фрезерувати спіральні канавки
- Am6 Фрезерувати спинку зубів на ВСМ-029
- Am7 Термічна
- Am8 Очистити від окалин
- Am9 Рихтувальна
- Am10 Шліфувати робочу частину і хвостовик на Орша 60200
- Am11 Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці
- Am12 Набрати, відрегулювати пластини, закріпити
- Am13 Паяти пластини
- Am14 Шліфувати робочу частину
- Am15 Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру

Ам16 Шліфувати хвостову частину

Ам17 Шліфувати канавки

Ам18 Полірувати канавки

Ам19 Зрізати тимчасовий центр

Ам20 Шліфувати затилки

Ам21 Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно

Ам22 Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава

Ам23 Заточити задній кут по заборному конусу

Ам24 Заточити перемичку

Ам25 Маркувати магнітографією

Ам26 Контроль

Аф1 Нанесення покриття

М2

Аз2 Штампувати заготовки

Ам27 Зацентрувати

Ам2 Обточити технологічний центр

Ам3 Обточити робочу частину з припуском на шліфовку

Ам4 Обточити хвостовик з припуском на шліфовку

Ам5 Фрезерувати спіральні канавки

Ам28 Фрезерувати спинку зубів 6р13

Ам7 Термічна

Ам29 Поновлення баз

Ам8 Очистити від окалини

Ам9 Рихтувальна

Ам30 Шліфувати робочу частину і хвостовик на 3Д725

Ам11 Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці

Ам12 Набрати, відрегулювати пластини, закріпити

Ам13 Паяти пластини

Ам14 Шліфувати робочу частину

Ам31 Шліфувати хвостову частину

Ам15 Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру

Ам17 Шліфувати канавки

Ам18 Полірувати канавки

Ам19 Зрізати тимчасовий центр

Ам20 Шліфувати затилки

Ам21 Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно

Ам22 Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава

Ам23 Заточити задній кут по заборному конусу

Ам24 Заточити перемичку

Ам32 Маркувати ручним штемпелем

Ам26 Контроль

Аф2 Піскоструй

М3

Аз3 Обточити технологічний центр

Аз4 Обточити робочу частину з припуском на шліфовку

Аз5 Обточити хвостовик з припуском на шліфовку

Аз6 Відрізка стрічковою пилою

Ам1 Порізати поштучно, підрізати торці, Зацентрувати

Ам5 Фрезерувати спіральні канавки

Ам33 Фрезерувати спинку зубів на XW6136

Ам34 Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці

Ам7 Термічна

Ам8 Очистити від окалин

Ам9 Рихтувальна

Ам10 Шліфувати робочу частину і хвостовик

Ам12 Набрати, відрегулювати пластини, закріпити

Ам13 Паяти пластини

Ам35 Шліфувати робочу частину на 3А64

Ам15 Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру

Ам16 Шліфувати хвостову частину

Ам17 Шліфувати канавки

Ам18 Полірувати канавки

Ам19 Зрізати тимчасовий центр

Ам20 Шліфувати затилки

Ам21 Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно

Ам22 Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава

Ам23 Заточити задній кут по заборному конусу

Ам24 Заточити перемичку

Ам36 Маркувати електрографією

Ам26 Контроль

Аф3 Магнітно Абразивна Обробка

М4

А34 Відрізати заготовки дисковою пилою

Ам1 Порізати поштучно, підрізати торці, Зацентрувати

Ам2 Обточити технологічний центр

Ам3 Обточити робочу частину з припуском на шліфовку

Ам4 Обточити хвостовик з припуском на шліфовку

Ам5 Фрезерувати спіральні канавки

Ам37 Фрезерувати спинку зубів на СФ-676 (675)

Ам7 Термічна

Ам8 Очистити від окалин

Ам9 Рихтувальна

Ам38 Шліфувати робочу частину і хвостовик на SK 204

Ам11 Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці

Ам12 Набрати, відрегулювати пластини, закріпити

Ам13 Паяти пластини

Ам14 Шліфувати робочу частину

Ам15 Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру

Ам39 Шліфувати канавки

Ам16 Шліфувати хвостову частину

Ам40 Зрізати тимчасовий центр

Ам18 Полірувати канавки

Ам20 Шліфувати затилки

Ам21 Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно

Ам22 Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава

Ам23 Заточити задній кут по заборному конусу

Ам24 Заточити перемичку

Ам41 Маркувати клеймінням

Ам26 Контроль

Аф4 Тягове шліфування

М5

А35 Відрізати заготовки лазером

Ам1 Порізати поштучно, підрізати торці, Зацентрувати

Ам2 Обточити технологічний центр

Ам3 Обточити робочу частину з припуском на шліфовку

Ам4 Обточити хвостовик з припуском на шліфовку

Ам5 Фрезерувати спіральні канавки

Ам42 Фрезерувати спинку зубів на JET JMD-939GH

Ам7 Термічна
 Ам8 Очистити від окалин
 Ам9 Рихтувальна
 Ам43 Шліфувати робочу частину і хвостовик на FW 1100
 Ам11 Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці
 Ам12 Набрати, відрегулювати пластини, закріпити
 Ам13 Паяти пластини
 Ам14 Шліфувати робочу частину
 Ам16 Шліфувати хвостову частину
 Ам44 Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру
 Ам17 Шліфувати канавки
 Ам18 Полірувати канавки
 Ам19 Зрізати тимчасовий центр
 Ам20 Шліфувати затилки
 Ам21 Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплаву остаточно
 Ам22 Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплаву
 Ам23 Заточити задній кут по заборному конусу
 Ам24 Заточити перемичку
 Ам45 Маркувати лазером
 Ам26 Контроль
 Аф5 Пакування

Таблиця 3.3

М1

| Номер операції | Позначення операції | Зміст Операції |
|----------------|---------------------|---|
| 005 | Аз1 | Відрізати заготовки різцем |
| 010 | Ам1 | Підрізати торці, Зацентрувати |
| 015 | Ам2 | Обточити технологічний центр |
| 020 | Ам3 | Обточити робочу частину з припуском на шліфовку |
| 025 | Ам4 | Обточити хвостовик з припуском на шліфовку |
| 030 | Ам5 | Фрезерувати спіральні канавки |

Продовження табл. 3.3

| | | |
|------|------|---|
| 035 | Ам6 | Фрезерувати спинку зубів на ВСМ-029 |
| 040 | Ам7 | Термічна |
| 045 | Ам8 | Очистити від окалин |
| 050 | Ам9 | Рихтувальна |
| 055 | Ам10 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на Орша 60200 |
| 060 | Ам11 | Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці |
| 065 | Ам12 | Набрати, відрегулювати пластини, закріпити |
| 070 | Ам13 | Паяти пластини |
| 075 | Ам14 | Шліфувати робочу частину |
| 080 | Ам15 | Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру |
| 085 | Ам16 | Шліфувати хвостову частину |
| 090 | Ам17 | Шліфувати канавки |
| 095 | Ам18 | Полірувати канавки |
| 0100 | Ам19 | Зрізати тимчасовий центр |
| 0105 | Ам20 | Шліфувати затилки |
| 0110 | Ам21 | Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно |
| 0115 | Ам22 | Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава |
| 0120 | Ам23 | Заточити задній кут по заборному конусу |
| 0125 | Ам24 | Заточити перемичку |
| 0130 | Ам25 | Маркувати магнітографією |
| 0135 | Ам26 | Контроль |
| 0140 | Аф1 | Нанесення покриття |

Таблиця 3.4

М2

| Номер операції | Позначення операції | Зміст Операції |
|----------------|---------------------|---|
| 005 | Аз2 | Штампувати заготовки |
| 010 | Ам27 | Зацентрувати |
| 015 | Ам2 | Обточити технологічний центр |
| 020 | Ам3 | Обточити робочу частину з припуском на шліфовку |

| | | |
|------|------|---|
| 025 | Ам4 | Обточити хвостовик з припуском на шліфовку |
| 030 | Ам5 | Фрезерувати спіральні канавки |
| 035 | Ам28 | Фрезерувати спинку зубів 6р13 |
| 040 | Ам7 | Термічна |
| 045 | Ам29 | Поновлення баз |
| 050 | Ам8 | Очистити від окалин |
| 055 | Ам9 | Рихтувальна |
| 060 | Ам30 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на 3Д725 |
| 065 | Ам11 | Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці |
| 070 | Ам12 | Набрати, відрегулювати пластини, закріпити |
| 075 | Ам13 | Паяти пластини |
| 080 | Ам14 | Шліфувати робочу частину |
| 085 | Ам31 | Шліфувати хвостову частину |
| 090 | Ам15 | Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру |
| 095 | Ам17 | Шліфувати канавки |
| 0100 | Ам18 | Полірувати канавки |
| 0105 | Ам19 | Зрізати тимчасовий центр |
| 0110 | Ам20 | Шліфувати затилки |
| 0115 | Ам21 | Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно |
| 0120 | Ам22 | Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава |
| 0125 | Ам23 | Заточити задній кут по заборному конусу |
| 0130 | Ам24 | Заточити перемичку |
| 0135 | Ам32 | Маркувати ручним штемпелем |
| 0140 | Ам26 | Контроль |
| 0145 | Аф2 | Піскоструй |

Таблиця 3.5

МЗ

| Номер операції | Позначення операції | Зміст Операції |
|----------------|---------------------|---|
| 005 | Аз3 | Обточити технологічний центр |
| 010 | Аз4 | Обточити робочу частину з припуском на шліфовку |

| | | |
|------|------|---|
| 015 | A35 | Обточити хвостовик з припуском на шліфовку |
| 020 | A36 | Відрізка стрічковою пилою |
| 025 | Ам1 | Порізати поштучно, підрізати торці, Зацентрувати |
| 030 | Ам5 | Фрезерувати спіральні канавки |
| 035 | Ам33 | Фрезерувати спинку зубів на XW6136 |
| 040 | Ам34 | Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці |
| 045 | Ам7 | Термічна |
| 050 | Ам8 | Очистити від окалин |
| 055 | Ам9 | Рихтувальна |
| 060 | Ам10 | Шліфувати робочу частину і хвостовик |
| 065 | Ам12 | Набрати, відрегулювати пластини, закріпити |
| 070 | Ам13 | Паяти пластини |
| 075 | Ам35 | Шліфувати робочу частину на 3A64 |
| 080 | Ам15 | Шліфувати пластинки з твердого сплаву позовнішньому діаметру |
| 085 | Ам16 | Шліфувати хвостову частину |
| 090 | Ам17 | Шліфувати канавки |
| 095 | Ам18 | Полірувати канавки |
| 0100 | Ам19 | Зрізати тимчасовий центр |
| 0105 | Ам20 | Шліфувати затилки |
| 0110 | Ам21 | Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно |
| 0115 | Ам22 | Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава |
| 0120 | Ам23 | Заточити задній кут по заборному конусу |
| 0125 | Ам24 | Заточити перемичку |
| 0130 | Ам36 | Маркувати електрографією |
| 0135 | Ам26 | Контроль |
| 0140 | Аф3 | Магнітно Абразивна Обробка |

Таблиця 3.6

М4

| Номер операції | Позначення операції | Зміст Операції |
|----------------|---------------------|------------------------------------|
| 005 | A37 | Відрізати заготовки дисковою пилою |

| | | |
|------|------|---|
| 010 | Ам1 | Підрізати торці, Зацентрувати |
| 015 | Ам2 | Обточити технологічний центр |
| 020 | Ам3 | Обточити робочу частину з припуском на шліфовку |
| 025 | Ам4 | Обточити хвостовик з припуском на шліфовку |
| 030 | Ам5 | Фрезерувати спіральні канавки |
| 035 | Ам37 | Фрезерувати спинку зубів на СФ-676 (675) |
| 040 | Ам7 | Термічна |
| 045 | Ам8 | Очистити від окалин |
| 050 | Ам9 | Рихтувальна |
| 055 | Ам38 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на SK 204 |
| 060 | Ам11 | Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці |
| 065 | Ам12 | Набрати, відрегулювати пластини, закріпити |
| 070 | Ам13 | Паяти пластини |
| 075 | Ам14 | Шліфувати робочу частину |
| 080 | Ам15 | Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру |
| 085 | Ам39 | Шліфувати канавки |
| 090 | Ам16 | Шліфувати хвостову частину |
| 095 | Ам40 | Зрізати тимчасовий центр |
| 0100 | Ам18 | Полірувати канавки |
| 0105 | Ам20 | Шліфувати затилки |
| 0110 | Ам21 | Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно |
| 0115 | Ам22 | Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава |
| 0120 | Ам23 | Заточити задній кут по заборному конусу |
| 0125 | Ам24 | Заточити перемичку |
| 0130 | Ам41 | Маркувати клеймінням |
| 0135 | Ам26 | Контроль |
| 0140 | Аф4 | Тягове шліфування |

Таблиця 3.7

М5

| Номер операції | Позначення операції | Зміст Операції |
|----------------|---------------------|---|
| 005 | Аз8 | Відрізати заготовки лазером |
| 010 | Ам1 | Підрізати торці, Зацентрувати |
| 015 | Ам2 | Обточити технологічний центр |
| 020 | Ам3 | Обточити робочу частину з припуском на шліфовку |
| 025 | Ам4 | Обточити хвостовик з припуском на шліфовку |
| 030 | Ам5 | Фрезерувати спіральні канавки |
| 035 | Ам42 | Фрезерувати спинку зубів на JET JMD-939GH |
| 040 | Ам7 | Термічна |
| 045 | Ам8 | Очистити від окалин |
| 050 | Ам9 | Рихтувальна |
| 055 | Ам43 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на FW 1100 |
| 060 | Ам11 | Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці |
| 065 | Ам12 | Набрати, відрегулювати пластини, закріпити |
| 070 | Ам13 | Паяти пластини |
| 075 | Ам14 | Шліфувати робочу частину |
| 080 | Ам16 | Шліфувати хвостову частину |
| 085 | Ам44 | Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру |
| 090 | Ам17 | Шліфувати канавки |
| 095 | Ам18 | Полірувати канавки |
| 0100 | Ам19 | Зрізати тимчасовий центр |
| 0105 | Ам20 | Шліфувати затилки |
| 0110 | Ам21 | Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно |
| 0115 | Ам22 | Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава |
| 0120 | Ам23 | Заточити задній кут по заборному конусу |
| 0125 | Ам24 | Заточити перемичку |
| 0130 | Ам45 | Маркувати лазером |
| 0135 | Ам26 | Контроль |
| 0140 | Аф5 | Пакування |

Таблиця 3.8 Побудова узагальненого маршруту виготовлення свердла

| Позначення(Шифр) | Назва Операції | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | Узагальнений маршрут |
|------------------|---|----|----|----|----|----|----------------------|
| A31 | Відрізати заготовки різцем | + | | | | | ⊕ |
| A32 | Штампувати заготовки | | + | | | | ⊕ |
| A33 | Обточити технологічний центр | | | + | | | ⊕ |
| A34 | Обточити робочу частину з припуском на шліфовку | | | + | | | ⊕ |
| A35 | Обточити хвостовик з припуском на шліфовку | | | + | | | ⊕ |
| A36 | Відрізка стрічковою пилою | | | + | | | ⊕ |
| A37 | Відрізати заготовки дисковою пилою | | | | + | | ⊕ |
| A38 | Відрізати заготовки лазером | | | | | + | ⊕ |
| Am1 | Підрізати торці, Зацентрувати | + | | + | + | + | ⊕ |
| Am27 | Зацентрувати | | + | | | | ⊕ |
| Am2 | Обточити технологічний центр | + | + | | + | + | ⊕ |
| Am3 | Обточити робочу частину з припуском на шліфовку | + | + | | + | + | ⊕ |
| Am4 | Обточити хвостовик з припуском на шліфовку | + | + | | + | + | ⊕ |
| Am5 | Фрезерувати спіральні канавки | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Am28 | Фрезерувати спинку зубів бр13 | | + | | | | ⊕ |
| Am33 | Фрезерувати спинку зубів на XW6136 | | | + | | | ⊕ |
| Am34 | Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці | | | + | | | ⊕ |
| Am37 | Фрезерувати спинку зубів на CF-676 (675) | | | | + | | ⊕ |
| Am42 | Фрезерувати спинку зубів на JET JMD-939GH | | | | | + | ⊕ |
| Am7 | Термічна | + | + | + | + | + | ⊕ |

| | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|
| Ам29 | Поновлення баз | | + | | | | ⊕ |
| Ам8 | Очистити від окалин | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам9 | Рихтувальна | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам10 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на Орша 60200 | + | | + | | | ⊕ |
| Ам30 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на 3Д725 | | + | | | | ⊕ |
| Ам38 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на SK 204 | | | | + | | ⊕ |
| Ам43 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на FW 1100 | | | | | + | ⊕ |
| Ам11 | Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам12 | Набрати, відрегулювати пластини, закріпити | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам13 | Паяти пластини | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам14 | Шліфувати робочу частину | + | + | | + | + | ⊕ |
| Ам31 | Шліфувати хвостову частину | | + | | | | ⊕ |
| Ам35 | Шліфувати робочу частину на 3А64 | | | + | | | ⊕ |
| Ам15 | Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру | + | + | + | + | | ⊕ |
| Ам39 | Шліфувати канавки | | | | + | | ⊕ |
| Ам16 | Шліфувати хвостову частину | + | | + | + | + | |
| Ам40 | Зрізати тимчасовий центр | | | | + | | ⊕ |
| Ам44 | Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру | | | | | + | ⊕ |
| Ам17 | Шліфувати канавки | + | + | + | | + | ⊕ |
| Ам18 | Полірувати канавки | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам19 | Зрізати тимчасовий центр | + | + | + | | + | ⊕ |
| Ам20 | Шліфувати затилки | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам21 | Заточити передні поверхні пластинок з | + | + | + | + | + | ⊕ |

| | | | | | | | |
|------|--|---|---|---|---|---|---|
| | твердого сплава остаточно | | | | | | |
| Ам22 | Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам23 | Заточити задній кут по заборному конусу | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам24 | Заточити перемичку | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Ам25 | Маркувати магнітографією | + | | | | | ⊕ |
| Ам32 | Маркувати ручним штемпелем | | + | | | | ⊕ |
| Ам36 | Маркувати електрографією | | | + | | | ⊕ |
| Ам41 | Маркувати клеймінням | | | | + | | ⊕ |
| Ам45 | Маркувати лазером | | | | | + | ⊕ |
| Ам26 | Контроль | + | + | + | + | + | ⊕ |
| Аф1 | Нанесення покриття | + | | | | | ⊕ |
| Аф2 | Піскоструй | | + | | | | ⊕ |
| Аф3 | Магнітно Абразивна Обробка | | | + | | | ⊕ |
| Аф4 | Тягове шліфування | | | | + | | ⊕ |
| Аф5 | Пакування | | | | | + | ⊕ |

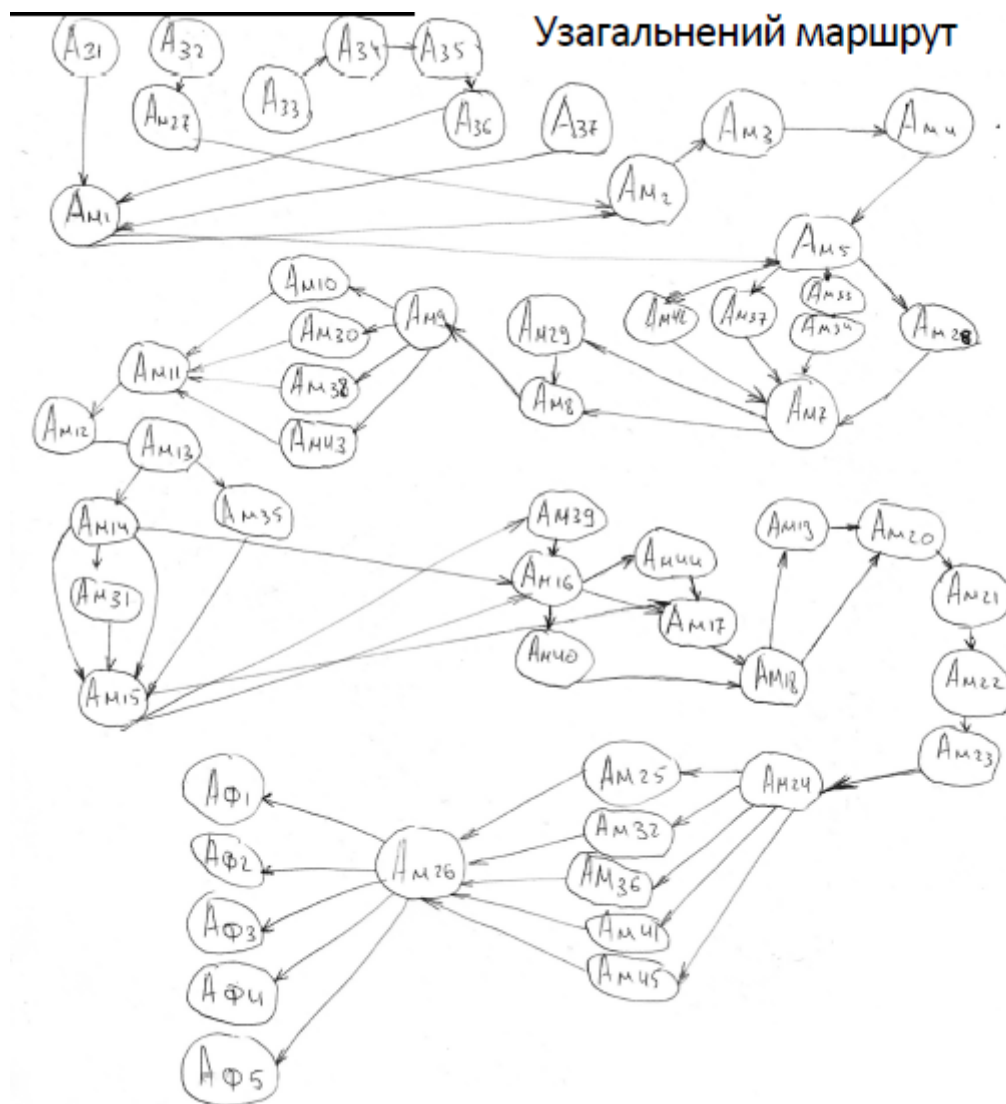


Рисунок 3.1 Узагальнений технологічний маршрут

Таблиця 3.9 Оцінка технологічних маршрутів виготовлення свердла за логічними критеріями

| Групи | Код | Зміст операції | Логічні критерії |
|--------------|-----|---|--|
| Заготівельна | A31 | Відрізати заготовки різцем | A9, A11, A16, A17, A22, A23, A24 |
| | A32 | Штампувати заготовки | A9, A11, A16, A17, A21, A22, A23, A24, A26 |
| | A33 | Обточити технологічний центр | A2, A3, A9, A11, |
| | A34 | Обточити робочу частину з припуском на шліфовку | A2, A3, A13 |
| | A35 | Обточити хвостовик з припуском на шліфовку | A11, A9, A13 |
| | A36 | Відрізка стрічковою пилою | A3, A11, A16, A19, A21 |
| | A37 | Відрізати заготовки дисковою пилою | A3, A11, A16, A19, A21 |

| | | | |
|------------------|------|---|--|
| | A38 | Відрізати заготовки лазером | A1,A3,A9,A10,A11,A13,A18,A19,A20,A21,A24,A26,A16 |
| Механічна | Ам1 | Підрізати торці, Зацентрувати | A3,A9,A13,A16,A17,A20,A23 |
| | Ам27 | Зацентрувати | A3,A9,A13,A16,A17,A20,A23 |
| | Ам2 | Обточити технологічний центр | A3,A9,A13,A16,A17,A20,A23 |
| | Ам3 | Обточити робочу частину з припуском на шліфовку | A2,A3,A11,A12,A14,A24 |
| | Ам4 | Обточити хвостовик з припуском на шліфовку | A9,A22,A24,A27 |
| | Ам5 | Фрезерувати спіральні канавки | A3,A4,A8,A12,A14,A15,A19,A22,A29,A30,A31 |
| | Ам28 | Фрезерувати спинку зубів 6p13 | A3,A4,A30,A27,A26,A23,A18,A14 |
| | Ам33 | Фрезерувати спинку зубів на XW6136 | A3,A4,A30,A27,A26,A23,A18,A14 |
| | Ам34 | Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці | A1,A18,A20,A25 |
| | Ам37 | Фрезерувати спинку зубів на СФ-676 (675) | A3,A4,A30,A27,A26,A23,A18,A14 |
| | Ам42 | Фрезерувати спинку зубів на JET JMD-939GH | A3,A4,A30,A27,A26,A23,A18,A14 |
| | Ам7 | Термічна | A1,A10,A18 |
| | Ам29 | Поновлення баз | A16,A17 |
| | Ам8 | Очистити від окалин | A10,A18 |
| | Ам9 | Рихтувальна | A10,A18 |
| | Ам10 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на Орша 60200 | A1,A12,A14,A28,A29,A19,A21,A26 |
| | Ам30 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на 3Д725 | A1,A12,A14,A28,A29,A19,A21,A26 |
| | Ам38 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на SK 204 | A1,A12,A14,A28,A29,A19,A21,A26 |
| | Ам43 | Шліфувати робочу частину і хвостовик на FW 1100 | A1,A12,A14,A28,A29,A19,A21,A26 |
| | Ам11 | Фрезерувати місце під пластину з підгонкою на місці | A1,A18,A20,A25,A23,A17 |

| | | | |
|------------------|------|---|----------------|
| | Ам12 | Набрати, відрегулювати пластини, закріпити | - |
| | Ам13 | Паяти пластини | A1,A25 |
| | Ам14 | Шліфувати робочу частину | A12,A14 |
| Механічна | Ам31 | Шліфувати хвостову частину | A28,A9 |
| | Ам35 | Шліфувати робочу частину на 3A64 | A12,A14 |
| | Ам15 | Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру | A1,A3,A5,A6,A7 |
| Механічна | Ам39 | Шліфувати канавки | A8,A29 |
| | Ам16 | Шліфувати хвостову частину | A28,A9 |
| | Ам40 | Зрізати тимчасовий центр | A16,A17 |
| | Ам44 | Шліфувати пластинки з твердого сплаву по зовнішньому діаметру | A1,A3,A5,A6,A7 |
| | Ам17 | Шліфувати канавки | A8,A29 |
| | Ам18 | Полірувати канавки | A15,A29 |
| | Ам19 | Зрізати тимчасовий центр | A16,A17 |
| | Ам20 | Шліфувати затилки | A30 |
| | Ам21 | Заточити передні поверхні пластинок з твердого сплава остаточно | A5,A7 |
| | Ам22 | Заточити задній кут по діаметру у пластинки з твердого сплава | A6 |
| | Ам23 | Заточити задній кут по заборному конусу | A6 |
| | Ам24 | Заточити перемичку | A2,A4,A11, |
| | Ам25 | Маркувати магнітографією | - |
| | Ам32 | Маркувати ручним штемпелем | - |
| | Ам36 | Маркувати електрографією | - |
| | Ам41 | Маркувати клеймінням | - |
| | Ам45 | Маркувати лазером | - |
| | Ам26 | Контроль | - |
| | Аф1 | Нанесення покриття | A10,A18 |

| | | | |
|-----------------|-----|----------------------------|---------|
| Фінальна | Аф2 | Піскоструй | A10,A18 |
| | Аф3 | Магнітно Абразивна Обробка | A10,A18 |
| | Аф4 | Тягове шліфування | A10,A18 |
| | Аф5 | Пакування | - |

Таблиця 3.10 Оптимізація технологічних маршрутів виготовлення свердла

| К о д о п е р а- ції й | Технологічні | | | | | Експлуатаційні | | | | | Економічні | | | | |
|--|--------------|----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|
| | Маршрути | | | | | Маршрути | | | | | Маршрути | | | | |
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| A ₃₁ | 2 | - | - | - | - | 4 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - |
| A ₃₂ | - | 2 | - | - | - | - | 4 | - | - | - | - | 3 | - | - | - |
| A ₃₃ | - | - | 4 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| A ₃₄ | - | - | 3 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| A ₃₅ | - | - | 3 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| A ₃₆ | - | - | 2 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 2 | - | - |
| A ₃₇ | - | - | - | 2 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 2 | - |
| A | - | - | - | - | 6 | - | - | - | - | 2 | - | - | - | - | 5 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38 | | | | | | | | | | | | | | | |
| A M 1 | 3 | - | 3 | 3 | 3 | 3 | - | 3 | 3 | 3 | 1 | - | 1 | 1 | 1 |
| A M 27 | - | 3 | - | - | - | - | 3 | - | - | - | - | 1 | - | - | - |
| A M 2 | 3 | 3 | - | 3 | 3 | 3 | 3 | - | 3 | 3 | 1 | 1 | - | 1 | 1 |
| A M 3 | 5 | 5 | - | 5 | 5 | 1 | 1 | - | 1 | 1 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| A M 4 | 1 | 1 | - | 1 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | 1 | 2 | 2 | - | 2 | 2 |
| A M 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| A M 28 | - | 4 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 3 | - | - | - |
| A M 33 | - | - | 4 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 3 | - | - |
| A M 34 | - | - | 1 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 3 | - | - |
| A M 37 | - | - | - | 4 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 3 | - |
| A M 42 | - | - | - | - | 4 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 3 |
| A M 7 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| A M | - | 0 | - | - | - | - | 2 | - | - | - | - | 0 | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | | | | | | | | | | | | | | | |
| A M 8 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 1 | 1 | 1 | - | 1 |
| A M 9 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 1 | 1 | 1 | - | 1 |
| A M 10 | 5 | - | 5 | - | - | 0 | - | 0 | - | - | 3 | - | 3 | - | - |
| A M 30 | - | 5 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 3 | - | - | - |
| A M 38 | - | - | - | 5 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 3 | - |
| A M 43 | - | - | - | - | 5 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 3 |
| A M 11 | 1 | 1 | - | 1 | 1 | 2 | 2 | - | 2 | 2 | 3 | 3 | - | 3 | 3 |
| A M 12 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| A M 13 | 1 | 1 | - | 1 | 1 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 1 | 1 | - | 1 | 1 |
| A M 14 | 2 | 2 | - | 2 | 2 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| A M 31 | - | 2 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - |
| A M 35 | - | - | 2 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| A M 15 | 5 | 5 | 5 | 5 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A M 39 | - | - | - | 2 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - |
| A M 16 | 2 | - | 2 | 2 | 2 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| A M 40 | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 2 | - | - | - | - | 0 | - |
| A M 44 | - | - | - | - | 5 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| A M 17 | 2 | 2 | 2 | - | 2 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| A M 18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A M 19 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 2 | 2 | 2 | - | 2 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| A M 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A M 21 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A M 22 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A M 23 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A M 24 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A M 25 | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - |

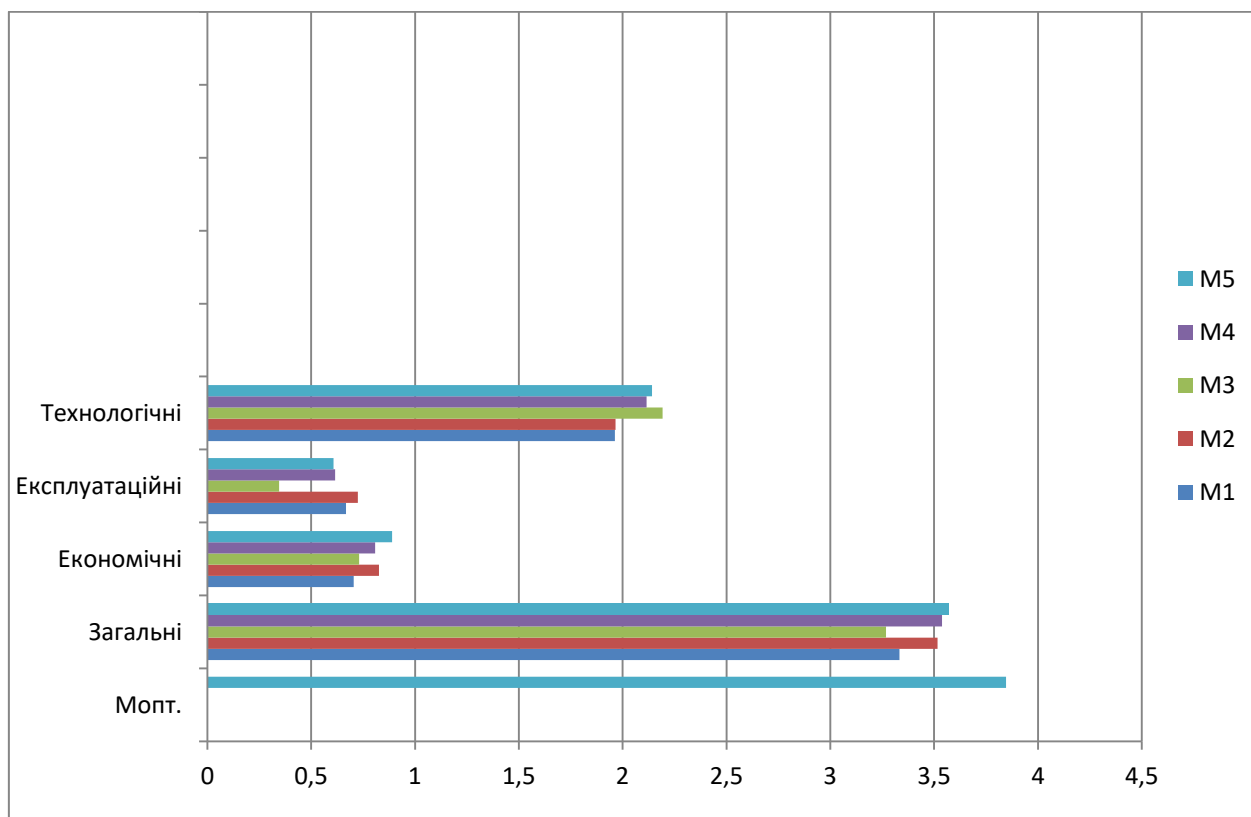
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|
| A M 32 | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - |
| A M 36 | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - |
| A M 41 | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - |
| A M 45 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| A M 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A ϕ 1 | 1 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - |
| A ϕ 2 | - | 1 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 1 | - | - | - |
| A ϕ 3 | - | - | 1 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 1 | - | - |
| A ϕ 4 | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 1 | - |
| A ϕ 5 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | 0 |
| Σ C ij | 53 | 57 | 57 | 55 | 60 | 18 | 21 | 9 | 16 | 17 | 19 | 24 | 19 | 21 | 24 |
| Σ A ij | 27 | 29 | 26 | 26 | 28 | 27 | 29 | 26 | 26 | 28 | 27 | 29 | 26 | 26 | 28 |
| N i | 1,96 2 | 1,96 5 | 2,19 2 | 2,115 | 2,14 2 | 0,667 | 0,724 | 0,346 | 0,615 | 0,607 | 0,70 4 | 0,82 7 | 0,731 | 0,808 | 0,88 9 |

Таблиця 3.11 Визначення загальної потужності технологічних маршрутів

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | Мопт. |
|------|----|----|----|----|----|-------|
| A31 | 7 | - | - | - | - | - |
| A32 | - | 9 | - | - | - | 9 |
| A33 | - | - | 4 | - | - | - |
| A34 | - | - | 3 | - | - | - |
| A35 | - | - | 3 | - | - | 3 |
| A36 | - | - | 5 | - | - | - |
| A37 | - | - | - | 5 | - | - |
| A38 | - | - | - | - | 13 | 13 |
| AM1 | 7 | - | 7 | 7 | 7 | 7 |
| AM27 | - | 7 | - | - | - | - |
| AM2 | 7 | 7 | - | 7 | 7 | 7 |
| AM3 | 6 | 6 | - | 6 | 6 | 6 |
| AM4 | 4 | 4 | - | 4 | 4 | 4 |
| AM5 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| AM28 | - | 8 | - | - | - | - |
| AM33 | - | - | 8 | - | - | - |
| AM34 | - | - | 4 | - | - | - |
| AM37 | - | - | - | 8 | - | - |
| AM42 | - | - | - | - | 8 | - |
| AM7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| AM29 | - | 2 | - | - | - | - |
| AM8 | 2 | 2 | 2 | - | 2 | 2 |
| AM9 | 2 | 2 | 2 | - | 2 | 2 |
| AM10 | 8 | - | 8 | - | - | - |
| AM30 | - | 8 | - | - | - | - |
| AM38 | - | - | - | 8 | - | - |
| AM43 | - | - | - | - | 8 | - |
| AM11 | 6 | 6 | - | 6 | 6 | 6 |
| AM12 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - |
| AM13 | 2 | 2 | - | 2 | 2 | 2 |
| AM14 | 2 | 2 | - | 2 | 2 | 2 |
| AM31 | - | 2 | - | - | - | - |
| AM35 | - | - | 2 | - | - | - |

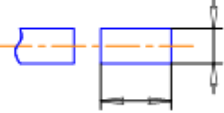
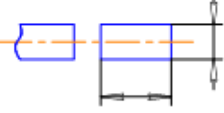
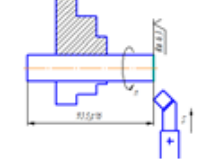
| | | | | | | |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| AM15 | 5 | 5 | 5 | 5 | - | - |
| AM39 | - | - | - | 2 | - | - |
| AM16 | 2 | - | 2 | 2 | 2 | 2 |
| AM40 | - | - | - | 2 | - | - |
| AM44 | - | - | - | - | 5 | - |
| AM17 | 2 | 2 | 2 | - | 2 | 2 |
| AM18 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| AM19 | 2 | 2 | 2 | - | 2 | 2 |
| AM20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AM21 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| AM22 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| AM23 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AM24 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| AM25 | 0 | - | - | - | - | - |
| AM32 | - | 0 | - | - | - | - |
| AM36 | - | - | 0 | - | - | - |
| AM41 | - | - | - | 0 | - | - |
| AM45 | - | - | - | - | 0 | - |
| AM26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| Aφ1 | 2 | - | - | - | - | 2 |
| Aφ2 | - | 2 | - | - | - | 2 |
| Aφ3 | - | - | 2 | - | - | 2 |
| Aφ4 | - | - | - | 2 | - | 2 |
| Aφ5 | - | - | - | - | 0 | - |
| ΣCij | 90 | 102 | 85 | 92 | 100 | 100 |
| ΣAij | 27 | 29 | 26 | 26 | 28 | 26 |
| Ni | 3,333 | 3,517 | 3,269 | 3,538 | 3,571 | 3,846 |

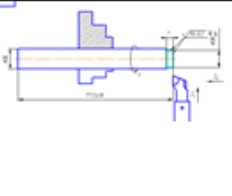
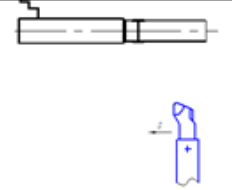
Таблиця 3.12 Діаграми потужностей

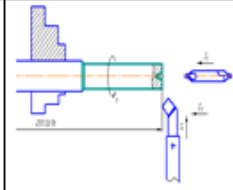
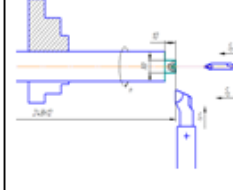


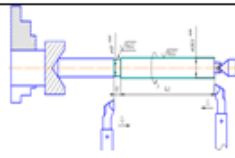
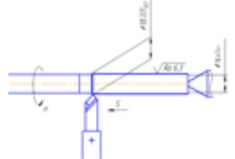
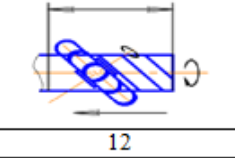
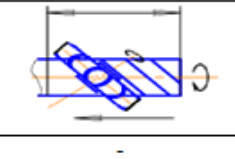
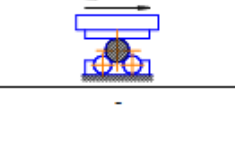
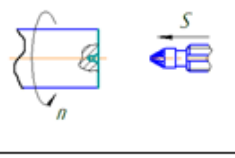
3.4 Технологія на виготовлення корпусу спірального сведла

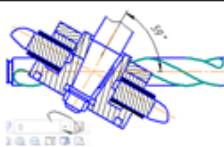
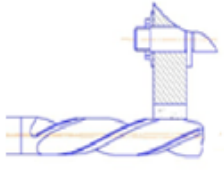
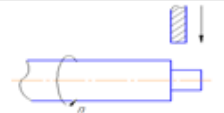
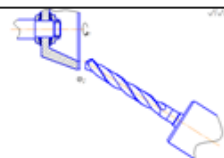
Таблиця 3.13

| Но мер опе рац ії | Наймену вання операції | Найменуван ня та зміст переходу | Найменуван ня верстата та його модель | Різальний інструмен т | Наймену вання пристосу вання | Вимір юваль ний інстру мент | Режими різання | | | Нор ма шту чног о часу | Операційний ескіз |
|-------------------------------|------------------------------|--|---|--|---|--|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------------|--|
| | | | | | | | s, мм/о б | n, об/х в | V м/хв | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 005 | Заготів ельна | Відрізати заготовку робочої частини | Відрізний ножівковий верстат 872M | Полотно ножівкове ГОСТ 6645-86 | Лещата верстатні і самоцен труючі ГОСТ 21168-75 | Штан генци ркуль ШЦ – 1 ГОСТ 166 - 63 | 0,017 мм/о б | - | 15 м/хв | |  |
| 010 | Заготів ельна | Відрізати заготовку хвостової частини | Відрізний ножівковий верстат 872M | Полотно ножівкове ГОСТ 6645-86 | Лещата верстатні і самоцен труючі ГОСТ 21168-75 | Штан генци ркуль ШЦ – 1 ГОСТ 166 - 63 | 0,017 мм/о б | - | 15 м/хв | |  |
| 015 | Токарна | Підрізати горіць хвостової частини | Токарно- гвинторізний верстат мод. 16K20 | Різець прохідни й відігнут ий T15K6 ГОСТ 18878 – 73 | Патрон 3-х кулачков их ГОСТ 12593 – 72 | Штан генци ркуль ШЦ – 1 ГОСТ 166 – 63 | 0,4 мм/о б | 2000 об/х в | 125, 66 м/хв | |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-------------|---|--|---|---------------------------------------|-------------------------------------|------------|-------------|--------------|---|---|
| 020 | Токарна | Підрізати торець робочої частини і проточити до діаметру зварювання | Токарно-гвинторізний верстат мод. 16K20 | Різець прохідний упорний Т15К6 ГОСТ 18879 – 73 | Патрон 3-х кулачкових ГОСТ 12593 – 72 | Штангенциркуль ШЦ – 1 ГОСТ 166 – 63 | 0,4 мм/о б | 2000 об/х в | 125, 66 м/хв | |  |
| 025 | Галтувальна | Очистити від окалини заготовки | Галтувальний барабан | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 030 | Зварювальна | Зварювання тертям | Верстат для зварювання тертям «Модель 250» | - | Патрон 3-х кулачкових ГОСТ 12593 – 72 | - | - | - | - | - | - |
| 035 | Термічна | Відпал | Електропіч СНО 4.8.2,5/10 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 040 | Токарна | Проточуємо зварний шов | Токарно-гвинторізний верстат мод. 16K20 | Різець прохідний відігнутий Т15К6 ГОСТ 18878 – 73 | Патрон 3-х кулачкових ГОСТ 12593 – 72 | - | 0,4 мм/о б | 2000 об/х в | 125, 66 м/хв | |  |
| 045 | Контрольна | Перевірити якість і глибину провару; відсутність | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|--|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|----|---|
| | | мікротріщин | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 050 | Токарна | 1. Підрізати торець хвостової частини; 2. Проточити по зовнішньому діаметру попередню хвостову частину; 3. Центрувати хвостову частину | Токарно-гвинторізний верстат мод. 16K20 | 1,2. Різець прохідний відігнутий Т15К6 ГОСТ 18878 – 73 3. Свердло центрове комбіноване по ГОСТ 14952-75 | Патрон 3-х кулачкових ГОСТ 12593 – 72 | Штангенциркуль ШЦ – 1 ГОСТ 166 – 63 | 1,2. 0,4 мм/о б 3,0,0 8 мм/о б | 2000 об/х в. 2000 об/х в | 125, 66 м/хв 21 м/хв | |  |
| 055 | Токарна | 1. Підрізати торець робочої частини в розмір згідно креслення з урахуванням технологічного центру; 2. Точити технологічний центр; 3. Центрувати робочу частину | Токарно-гвинторізний верстат мод. 16K20 | 1,2,3. Різець прохідний відігнутий Т15К6 ГОСТ 18878 – 73 4. Свердло центрове комбіноване по ГОСТ 14952-75 | Патрон 3-х кулачкових ГОСТ 12593 – 72 | Штангенциркуль ШЦ – 1 ГОСТ 166 – 63 | 1,2. 0,6 мм/о б 3,0,0 6 мм/о б | 2000 об/х в 2000 об/х в | 106, 8 м/хв 18 м/хв | |  |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----|----------------|--|--|---|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|----|---|
| 060 | Токарна | 1. Точити в центрах робочу частину з припуском під шліфування; 2. Точити шийку начисто; | Токарно-гвинторізний верстат мод. 16K20 | 1,2.Різець прохідний відігнутий Т15К6 ГОСТ 18878 – 73 | Патрон 3-х кулачкових ГОСТ 12593 – 72 | Штангенциркуль ШЦ – 1 ГОСТ 166 – 63 | 1. 0,6 мм/об 2. 0,6 мм/об | 106,8 м/хв 106,8 м/хв | 2000 об/хв 2000 об/хв | |  |
| 065 | Токарна | 1. Точити хвостовик з припуском під шліфування | Токарно-гвинторізний верстат мод. 16K20 | 1,2.Різець прохідний відігнутий Т15К6 ГОСТ 18878 – 73 | Патрон 3-х кулачкових ГОСТ 12593 – 72 | Штангенциркуль ШЦ – 1 ГОСТ 166 – 63 | 0,4 мм/об | 2000 об/хв | 125,66 м/хв | |  |
| 070 | Фрезерна | Фрезерувати сружкові канавки | Горизонтально-фрезерний верстат 6Р82 | Фреза дискова фасонна по ГОСТ 9305-93 | | | 0,125 мм/об | 130 об/хв | 34,33 м/хв | |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 075 | Фрезерна | Фрезерувати спинки | Горизонтально-фрезерний верстат 6Р82 | Фреза дискова фасонна по ГОСТ 9305-93 | | | 0,125 мм/об | 130 об/хв | 34,33 м/хв | |  |
| 080 | Слюсарна | Зняти задирки після фрезерування | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 085 | Маркувальна | Таврувати | Маркувальний верстат МФ36А | - | - | - | - | - | - | - |  |
| 090 | Термічна | Гартування та трикратний відпуск | Гартування в печі-ванні, Відпуск в термокамері | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 095 | Термічна | Рихтувати після термообробки | Електропід СНО 4.8.2,5/10 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 100 | Контрольна | Контролювати твердість робочої і хвостової частини згідно креслення | Верстат «РОКВЕЛ» | Твердомір | - | - | - | - | - | - | - |
| 105 | Дробоструменев | Очистити від окалини | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 110 | Токарна | Зачистити центра | Токарно-гвинторізний верстат мод. 16K20 | Зенкер конічний по ГОСТ 14953-80 | Патрон 3-х кулачкових ГОСТ 12593 – 72 | | 0,08 мм/об | 2000 об/хв | 21 м/хв | |  |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-------------------|---|---------------------------------|--------------------------------------|---|---|----------------------------|------------|------------|---|---|
| 115 | Заточувальна | Полірування спіральних канавок | Універсальний верстат 3Е642 | Полірувальний круг | | | 0,0001 мм/хв | 5730 об/хв | 30 м/хв | |  |
| 120 | Круглошліфувальна | Шліфування по зовнішньому діаметру робочої частини в розрізі згідно креслення | Круглошліфувальний верстат 3Б12 | Шліфувальний круг по ГОСТ 16168-80 | Мікрометр гладкий (від 0 до 25 мм) ГОСТ 6507-60 | | 0,0005 мм/об | 4500 об/хв | 23,43 м/хв | |  |
| 125 | Заточувальна | Зрізати тимчасовий центр | Універсальний верстат 3Е642 | Шліфувальний круг по ГОСТ 16168-80 | | | | | | |  |
| 130 | Заточувальна | Заточування свердла по двом площинам | Універсальний верстат 3Е642 | Круг алмазний чашковий ГОСТ 17123-79 | Універсальна поворотна головка | | 2 мм/хв 0,03 мм/п.од.хв | | 30 м/хв | |  |
| 135 | Контрольна | Контролювати форму заточки | Контрольний стіл | Шаблон | - | - | - | - | - | - | - |

4 Розроблення Start-up проекту

4.1. Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1. – Опис ідеї стартап - проекту

| Зміст ідеї | Напрямки застосування | Вигоди для користувача |
|---|-----------------------|--|
| Основою ідеєю свердла з напайною пластиною полягає в тому, що за допомогою цього інструменту, покращується якість обробки отворів, внаслідок чого покращується стійкість та час експлуатації виробу | 1.В побуті | Можливість оброблення отворів в домашніх умовах, тобто свобода дій при створенні виробу. Цінова політика даного винаходу значно менша за цінову політику виробу для виробництв |
| | 2.На виробництві | Можливість оброблення отворів на верстатах та вручну. Відмінна точність у виробництві свердел |
| | 3.Металооброблення | В даній сфері діяльності можливе виробництво свердел з більшою твердістю. |

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| № | Техніко-економічні характеристики ідеї | Потенційні товари/концепції конкурентів | | | S | N | W |
|---|--|--|--|---|---|---|---|
| | | Мій проект | Конкурент (товаро-замінник) 1 | Конкурент 2 | | | |
| 1 | Вартість | Свердло спіральне з напайною пластиною та радіусною заточкою | Свердло спіральне з напайною пластиною | Свердло спіральне з напайною пластиною зі зворотнім кутом при вершині | + | + | - |
| 2 | Експлуатація (використання) | | | | + | + | - |
| 3 | Точність виготовлення | | | | + | + | + |
| 4 | Функціонал | | | | + | - | - |

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3

| № | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|---|-------------------------------|---|----------------------|------------------------|
| 1 | Виготовлення корпусу свердла | Закупівля прутків зі сталі 45 | + | + |
| 2 | Верстати для виробництва | Закупівля верстатів для виготовлення свердел | + | - |
| 3 | Комплект фрез | Закупівля комплекту фрез для нарізання стружковивідних канавок та затилювання | + | + |
| 4 | ЗОТР | Закупівля ЗОТР у постачальника | + | + |
| 5 | Твердосплавні пластини | Закупівля твердосплавних пластин для виготовлення свердл | + | - |
| 6 | Пристосування для заточування | Закупівля пристосувань для заточування свердла | + | - |

Представлені технологічні рішення вибрані з огляду на доступність та є наявними на ринку.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.

Таблиця 4.4. – Попередня характеристика потенційного ринку

| № | Показник стану ринку(найменування) | Характеристика |
|---|---|--|
| 1 | Кількість головних гравців, од | 2 |
| 2 | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | - |
| 3 | Динаміка ринку (якісна оцінка) | Стала |
| 4 | Наявність обмежень для входу | Обмеження можуть виникати через конкуренцію та економічне становище в країні. |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Технічні умови; підтвердження і дотримання стандартів Державного комітету по стандартизації, метрології та сертифікації на всіх стадіях виробництва; обов'язкова сертифікація для можливості виходу на міжнародний ринок |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі, % | 45% |

В Україні ринок свердл є досить великим на даний момент, але кінцевий продукт, що виробляється з представленого набору має вагоме значення та можливості на ринку. Основні країни виробники – це Великобританія, США, Німеччина, Росія, Китай.

Таблиця 4.5. – Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

| № | Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія | Відмінності у поведінці різних потенційних груп клієнтів | Вимоги споживачів до товару |
|---|---|--|---|--|
| 1 | Підвищений час роботи інструмента | Серійне виробництво на машинобудівних виробництвах для нарізання різей в конструкційних матеріалах | Ціна на продукцію; Технічні характеристики; Загальний стан на ринку; Попит в представлених галузях; Висока експлуатаційна завантаженість. | -До продукції: якість продукції; її довговічність у використанні, стабільна робота продукції; дотримання всіх стандартів і рівня запропонованої продукції - До компанії постачальника: цілодобова підтримка; гарантія на певний термін експлуатації продукції. |
| 2 | Вища якість обробки та вища стійкість інструменту | | | |
| 3 | Робота в жорстких режимах різання | | | |

Таблиця 4.6. – Фактори загроз

| № | Фактор | Зміст загрози | Можлива реакція компанії |
|---|------------------------------------|---|--|
| 1 | Динаміка курсу національної валюти | Цей фактор в залежності від глибини і темпів змін з певною силою впливає на експортерів та імпортерів продукції. | Притаманний згасаючий вплив на компанію |
| 2 | Податковий | Впливає на витрати, рівень чистого прибутку і інші параметри діяльності підприємства | Зменшення прибутку |
| 3 | Конкурентний | Впливає на умови конкуренції, рекламну діяльність | Збільшення витрат задля конкурентної спроможності продукту |
| 4 | Рівень інфляції | Впливає на вартість ресурсів, придбаних підприємством, рівень процентних ставок по кредитах, структуру попиту на певні групи товарів. | Збільшення витрат на виробництво |

Таблиця 4.7. – Фактори можливостей

| № | Фактор | Зміст можливості | Можлива реакція компанії |
|---|-------------------|---|--|
| 1 | Міжнародний ринок | При дотриманні всіх стандартів, сертифікацій, а також підтримки інвесторів, можливий вихід продукції на міжнародний ринок | Вихід на новий ринок призводить до збільшення обороту, виробництва продукції, якості за рахунок нової клієнтури. |
| 2 | Технологічний | Нові технологічні рішення, особливо ті, які знаходять застосування у виробництві масових товарів, сильно змінюють загальні умови підприємницької діяльності, положення на ринку або інших товаровиробників. Крім того, з'явилися і активно використовуються нові матеріали (синтетичного характеру), нові технології виробництва та задоволення потреб. | Чим гучніше є технологічні досягнення, тим глибше і масштабніше вони перетворюють економічне життя в суспільстві, ринкові відносини. |

Таблиця 4.8. – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика | Вплив на діяльність підприємства |
|---|---|---|
| 1. Тип конкуренції - монополістична | Конкуренція, яка має місце на ринку з багатьма продавцями і покупцями і значною кількістю реалізованих товарів за різними цінами; | Можливе складне економічне становище підприємства на початку виробництва, проте при правильному підході – значне економічне зростання. |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний | Оскільки основний ринок для даної продукції і її використання – є міжнародним, то і основні ставки будуть робитись саме на цьому. | Захоплення ринку на міжнародному рівні |
| 3. За галузевою ознакою - міжгалузева | Охоплює декілька галузей машинобудування (автомобілебудування, авіабудування, т.д.) | Збільшений попит за рахунок використання приладу в різних сферах діяльності людини. |
| 4. Конкуренція за видами товарів – товарно родова | Конкуренція між різними видами товарів, які можуть виконувати подібні функції. | Мається на увазі конкуренція з боку товарів-субститутів (замінників). |
| 5. За характером конкурентних переваг - нецінова | Збільшення точності обробки, удосконалення конструкції. | Можливий неоднозначний вплив на діяльність, оскільки, якщо продукт матиме високу цінову вартість, то попит на неї може впасти. Тому доцільно дотримуватись правил рівності ціни=якості. |
| 6. За інтенсивністю - марочна | Оскільки даний продукт є продуктом широкого використання, то марочна політика є доцільною. | Збільшення попиту на товар, оскільки все більше і більше людей буде запам'ятовувати компанію. |

Таблиця 4.9. – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Складові аналізу | Прямі конкуренти в галузі | Потенційні конкуренти | Постачальники | Клієнти | Товари-замінники |
|------------------|---|---|--|---|--|
| | Виробник інструменту Völkel (Німеччина) | Виробник інструменту Intertool (Україна) | Виробник верстатів з ЧПК MTech Ukraine | Зменшення ціни виробу та збільшення функціональності | Фрези для обробки отворів різей |
| Висновки: | Удосконалення конструкції, простоти у використанні | В даному випадку основним критерієм конкуренції є цінова політика | Умови як і для всіх інших клієнтів. Можлива зміна ціни на необхідне обладнання через економічне становище. | Можливість проведення робіт по зменшенню собівартості | Простота конкурентності в точності обробки отворів |

Таблиця 4.10. – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| № | Фактор конкурентоспроможності | Обґрунтування |
|---|-------------------------------|---|
| 1 | Вартість | Ціна-якість-функціонал відповідають один одному і є значно дешевшими порівняно з аналогами, представленими на ринку. |
| 2 | Експлуатація(використання) | В порівнянні зі свердлами стандартної конструкції– значна економія при експлуатації техніки за рахунок вищої стійкості чи просто механічної роботи інструменту |
| 3 | Точність виготовлення | Збільшена точність оброблення отворів за рахунок покращення якості свердла |
| 4 | Функціонал | Більше можливостей при обробці отворів за рахунок більш стійкого інструменту, можливість зміни режимів різання при обробці. Вивід стружки непотрібного матеріалу з робочої зони за рахунок кращої точності та шорсткості інструменту. |

Таблиця 4.11. – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Свердла спірального з напайною твердосплавною пластиною»

| № | Фактор конкурентоспроможності | Бали(1-20) | Рейтинг товару виробника « Völkel » | | | | | | |
|---|-------------------------------|------------|---|----|----|---|----|----|----|
| | | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1 | Вартість | 10 | | | + | | | | |
| 2 | Експлуатація | 12 | | | + | | | | |
| 3 | Точність виготовлення | 9 | | | | | | | + |
| 4 | Функціонал | 15 | | | | + | | | |

Таблиця 4.12. – Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № п/п | Опис цільової групи потенційних клієнтів | Готовність споживача сприйняти продукт, % | Орієнтований попит в межах цільової групи ,комплектів/рік | Інтенсивність конкуренції в сегменті, % | Простота входу у сегмент, % |
|-------|---|---|---|---|-----------------------------|
| 1. | Підприємства виробники автомобілів та комплектуючих | 80 | 350 | 70 | 70 |
| 2 | Підприємства виробники літаків та комплектуючих | 65 | 200 | 55 | 75 |
| 3 | Підприємства верстатобудівної промисловості | 60 | 175 | 40 | 30 |

Таблиця 4.13.–Визначення базової стратегії розвитку

| № п/п | Чи є проект "першопрохідцем" на ринку | Чи буде компанія шукати нових споживачів або забирати існуючих конкурентів | Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента | Стратегія конкурентної поведінки |
|-------|---------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| 1 | Ні | Так | Ні | Пристосовницький тип стратегії |

Таблиця 4.14.–Визначення стратегії позиціонування

| № п/п | Вимоги до товару цільової аудиторії | Базова стратегія розвитку | Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту | Вибір асоціацій які мають сформувати комплексну позицію власного проекту |
|-------|-------------------------------------|---------------------------|--|--|
| 1 | Вартість | Стратегія комбінування | - | - |
| 2 | Легкість використання | | + | +/- |
| 3 | Велика функціональність | | - | - |
| 5 | Точність виготовлення | | + | + |

Таблиця 4.15.– Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| № п/п | Потреба | Вигода, яку пропонує товар | Ключові переваги перед конкурентами(існуючи або які потрібно створити) |
|-------|-------------------------|---|--|
| 1 | Вартість | Загальна вартість продукту | Використання недорогих матеріалів для виготовлення інструменту |
| 2 | Легкість використання | Відсутність наявності потреби уміння володіння складним обладнанням | Використання нескладних технологій не потребуючих глибоко розуміння процесу обробки |
| 3 | Велика функціональність | Набір інструментів для обробки отворів різних діаметрів | Комбінування сучасного інструменту та надання йому та заготовці високої степні вільності |
| 4 | Точність виготовлення | | Комбінування автоматичного та механічного керування процесом обробки |

Таблиця 4.16. – Визначення меж встановлення цін.

| № п/п | Рівень цін на товари замітники | Рівень цін на товари аналоги | Рівень доходів цільової групи | Верхня та нижня межа встановлення ціни на товар |
|-------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 | 700 | 130 | - | 130-700 |

Таблиця 4.17. – Формування системи збуту

| № п/п | Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів | Функція збуту, які має виконувати постачальник товару | Глибина каналу збуту | Оптимальна система збуту |
|-------|---|---|------------------------|----------------------------------|
| 1 | Поступове | Безпосередньо продаж продукції та окремих її компонентів, консультація, налагодження контактів щодо сервісу обслуговування. | Нульовий Рівень каналу | Вертикальна корпоративна система |

Таблиця 4.18. – Концепція маркетингових комунікацій

| № п/п | Специфіка поведінки цільових клієнтів | Канали комунікації, якими користується клієнт | Ключові позиції, обрані для позиціонування | Завдання рекламного повідомлення | Концепція рекламного звернення |
|-------|---|--|--|--|--------------------------------|
| 1 | Вимоги щодо зручності використання, надійності конструкції та якості кінцевого продукту | Веб-сторінка, консультація, клієнта в онлайн режимі, демонстрація роботи у шоу-румах, пересувні шоу-руми, стенди на виробництвах | Якість, вартість, легкість використання | Максимально інформативно донести до аудиторії, суть продукту з використанням простих схем, графіків та малюнків. | Кращий вибір за кращу ціну |

Основні висновки

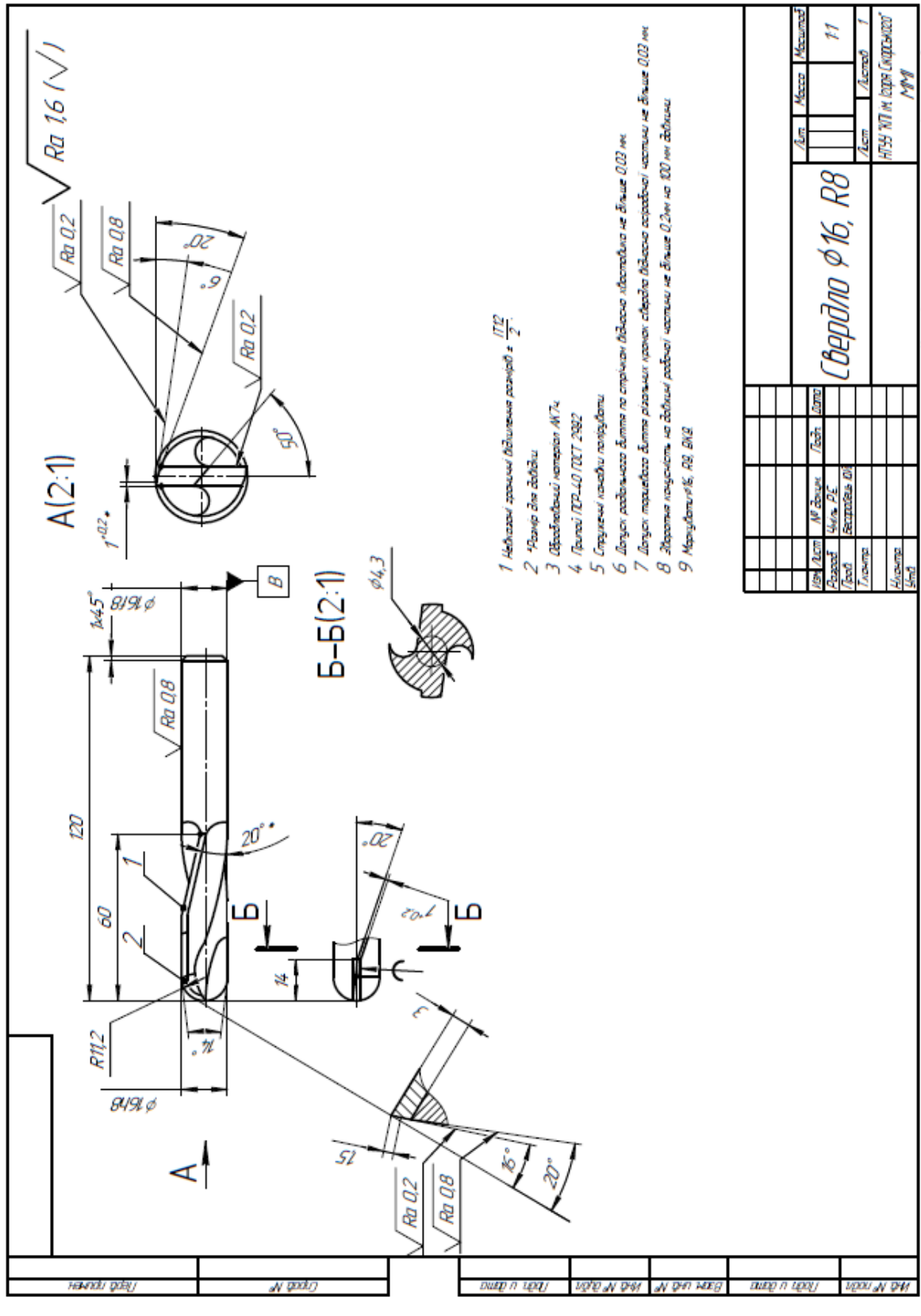
1. На основі розробки теоретичних основ проектування інструменту для обробки отворів, створена нова конструкція свердел, з підвищеною стійкістю, відносно спіральних свердел стандартної конструкції, які мають зміну передніх кутів від периферії свердла до центру.
2. За результатами розрахунків геометрії свердла, з усіх наведених конструкцій свердел було обрано найефективнішу. Хоча передній кут опимальніший у свердла з радіусом при вершині свердла R12, але за значеннями заднього кута та товщини зрізаного шару було обрано свердло спіральне з напайною твердосплавною пластиною та радіусною формою різальної частини з радіусом R8
3. Було розроблено технологічну систему для подальшого виготовлення свердла спірального з напайною твердосплавною пластиною.

Список використаної літератури

1. А.с. №1808507 А1 "Сверло" / Федотов Г.М. – Оpubл. в Б.И. 1993, №14
2. Бесарабец Ю.И. Геометрия подточенной передней поверхности сверла. Вестник НТУУ "КПИ" №36 Машиностроение Т.2 1999г., стр. 560-567.
3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975, 344 с.
4. Бондаренко С.Г. Исследование сверл с ломаными режущими кромками при обработке стали 12Х18Н10Т. - Киев, 1974. - 21 с.
5. Гаврилов В.Н. и др. Сверла с обособленными направляющими ленточками. / Материалы н.-т. симпозиума "Прогрессивные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация". Вильнюс 1974.
6. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1985. - 304 с.
7. Грановский Г.И., Даниленко Б.Д. Режущие свойства сверл, изготовленных из различных марок быстрорежущих сталей. / Материалы н.-т. сим-позиума "Прогрессивные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация". Вильнюс, 1974 - 20 с.
8. Жилис В.И. и др. Исследование износа быстрорежущих спиральных сверл. / Материалы н.-т. симпозиума "Прогрессивные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация". Вильнюс 1974.
9. Жилис В.И. Исследование и анализ спиральных сверл разных конструкций - Вильнюс 1969.
10. Исследование конструкции инструмента и процесса резания. \Под ред. Попова Ю.В.\ Омск. 1970, 98 с.
11. Косилова А.Г., Мещеряков Р.П. Справочник технолога-машиностроителя. Том 1. М., "Машиностроение", 1986
12. Косилова А.Г., Мещеряков Р.П. Справочник технолога-машиностроителя. Том 2. М., "Машиностроение", 1986

13. Криштопа Н.А. Родина Т.П. Геометрия задних поверхностей сверл и способы формообразования Киев "ВШ" 1982 128 с.
14. Мамлюк О.В. Лупкин Б.В. Родин Р.П. - Заточка спиральных сверл по сферической задней поверхности // Научно-технический журнал "Технологические системы" 2006 №2(34) с. 35-37
15. Некрасов С.С. Инструмент для обработки отверстий. М 1961
16. Родин Р.П. Филоненко С.Н. Змиевец В.Г. - Рациональные способы заточки сверл / Научные записки ОПИ Одесса 1960
17. Родин П.Р. Равская Л.В. - Сверла с выпуклыми радиусными кромками / Резание и инструмент 1980 №24 с. 23-24
18. Родин П.Р. - Геометрия режущей части спирального сверла / "Техніка" Киев 1971 с. 39
19. Родин П.Р. - Геометрия режущей части спирального сверла / "Техніка" Киев 1971 с. 43

Додаток А



Додаток Б

$r := 1.5$ $i := 1..25$ $\gamma c := 15 \cdot \text{deg}$

$R_i :=$ $\varphi_i :=$ $+$

| | |
|------|----------|
| 1.53 | 79 · deg |
| 1.94 | 76 · deg |
| 2.33 | 73 · deg |
| 2.74 | 70 · deg |
| 3.12 | 67 · deg |
| 3.5 | 64 · deg |
| 3.88 | 61 · deg |
| 4.24 | 58 · deg |
| 4.59 | 55 · deg |
| 4.92 | 52 · deg |
| 5.25 | 49 · deg |
| 5.55 | 46 · deg |
| 5.85 | 43 · deg |
| 6.13 | 40 · deg |
| 6.39 | 37 · deg |
| 6.63 | 34 · deg |
| 6.86 | 31 · deg |
| 7.06 | 28 · deg |
| 7.25 | 25 · deg |
| 7.42 | 22 · deg |
| 7.56 | 19 · deg |
| 7.69 | 16 · deg |
| 7.79 | 13 · deg |
| 7.88 | 10 · deg |
| 7.94 | 7 · deg |

$$\mu_i := \operatorname{asin}\left(\frac{r}{R_i}\right)$$

$$\tau_i := \operatorname{atan}\left(\tan(\mu_i) \cdot \cos(\varphi_i)\right)$$

$$\gamma N_i := \gamma c - \tau_i$$

| | 0 |
|----|--------|
| 0 | 78.635 |
| 1 | 50.642 |
| 2 | 40.074 |
| 3 | 33.192 |
| 4 | 28.736 |
| 5 | 25.377 |
| 6 | 22.743 |
| 7 | 20.718 |
| 8 | 19.075 |
| 9 | 17.751 |
| 10 | 16.602 |
| 11 | 15.68 |
| 12 | 14.857 |
| 13 | 14.164 |
| 14 | 13.576 |
| 15 | ... |

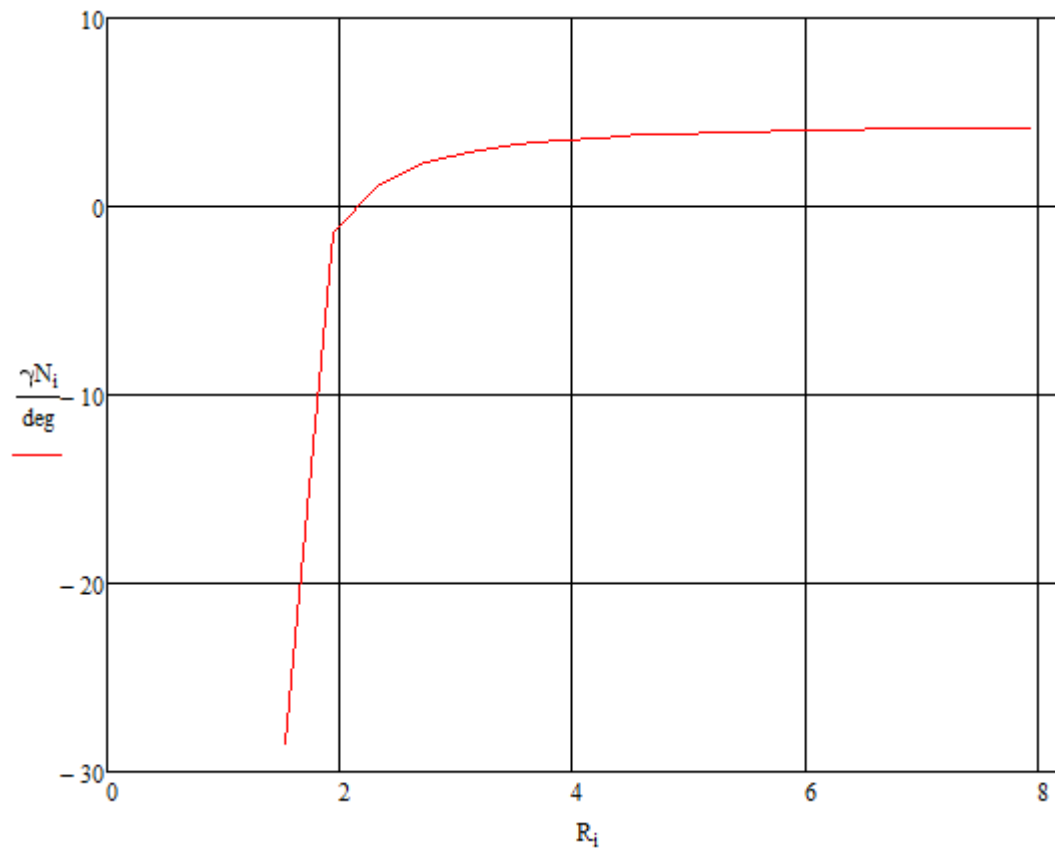
$$\frac{\mu_i}{\deg} =$$

| | 0 |
|----|--------|
| 0 | 43.51 |
| 1 | 16.434 |
| 2 | 13.819 |
| 3 | 12.612 |
| 4 | 12.092 |
| 5 | 11.747 |
| 6 | 11.488 |
| 7 | 11.334 |
| 8 | 11.218 |
| 9 | 11.149 |
| 10 | 11.067 |
| 11 | 11.034 |
| 12 | 10.98 |
| 13 | 10.942 |
| 14 | 10.916 |
| 15 | ... |

$$\frac{\tau_i}{\deg} =$$

| | 0 |
|----|--------|
| 0 | -28.51 |
| 1 | -1.434 |
| 2 | 1.181 |
| 3 | 2.388 |
| 4 | 2.908 |
| 5 | 3.253 |
| 6 | 3.512 |
| 7 | 3.666 |
| 8 | 3.782 |
| 9 | 3.851 |
| 10 | 3.933 |
| 11 | 3.966 |
| 12 | 4.02 |
| 13 | 4.058 |
| 14 | 4.084 |
| 15 | ... |

$$\frac{\gamma N_i}{\deg} =$$



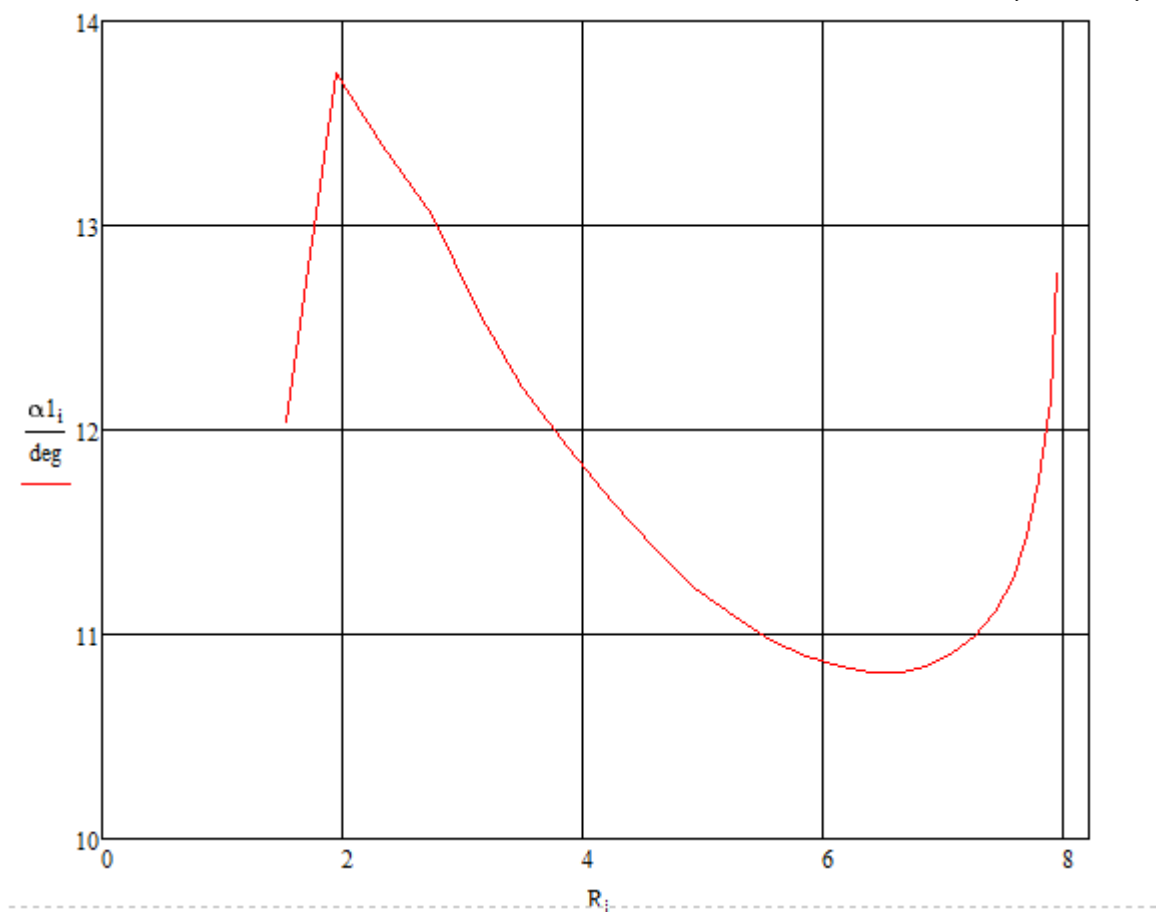
| | $\frac{\theta 2_i}{\text{deg}} =$ | $\frac{\theta N_i}{\text{deg}} =$ | $\frac{\alpha 1_i}{\text{deg}} =$ |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | 30.661 | 6.454 | 12.039 |
| | 18.153 | 4.535 | 13.746 |
| | 9.983 | 2.946 | 13.387 |
| | 6.1 | 2.093 | 13.051 |
| | 2.928 | 1.145 | 12.577 |
| | 0.945 | 0.414 | 12.205 |
| | -0.371 | -0.18 | 11.914 |
| | -1.471 | -0.78 | 11.643 |
| | -2.32 | -1.331 | 11.421 |
| | -3.051 | -1.88 | 11.229 |
| | -3.593 | -2.359 | 11.093 |
| | -4.13 | -2.872 | 10.971 |
| | -4.55 | -3.331 | 10.895 |
| | -4.95 | -3.796 | 10.844 |
| | -5.334 | -4.265 | 10.817 |
| | ... | ... | 10.817 |

$$\alpha := 12 \cdot \text{deg}$$

$$\theta 2_i := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_i) - \sin(\mu_i)}{\cos(\varphi_i)}\right)$$

$$\theta N_i := \text{atan}\left(\tan(\theta 2_i) \cdot \cos(\varphi_i)\right)$$

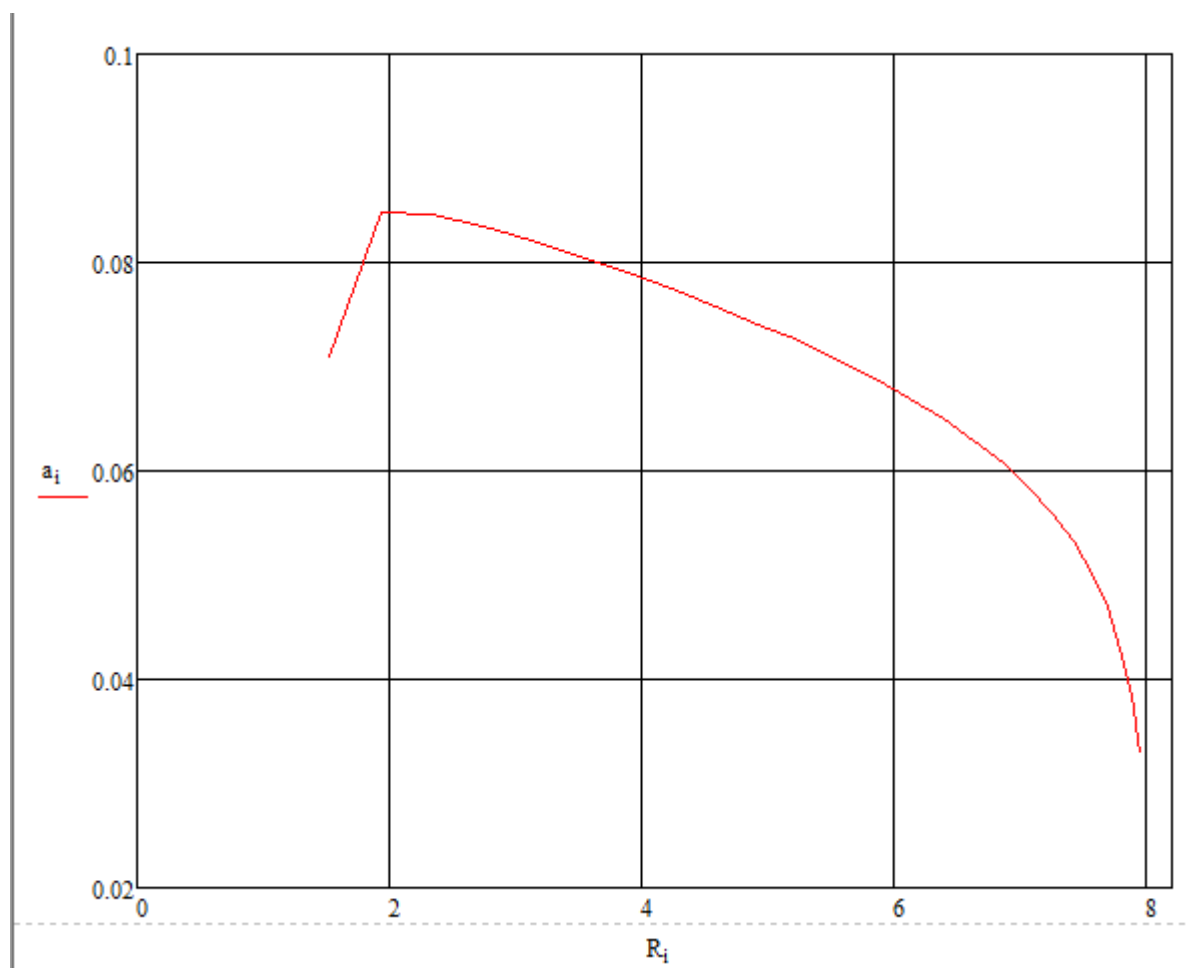
$$\alpha 1_i := \text{atan}\left(\frac{\tan(\theta N_i) \cdot \cos(\mu_i)}{\sin(\varphi_i)} + \sin(\mu_i) \cdot \cot(\varphi_i)\right)$$



$$s_i := 0.2 \quad a_i := \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cot(\varphi_i)}{\cos(\mu_i)} \right)^2}}$$

$a_i =$

| |
|-------|
| 0.071 |
| 0.085 |
| 0.085 |
| 0.083 |
| 0.082 |
| 0.081 |
| 0.079 |
| 0.077 |
| 0.076 |
| 0.074 |
| 0.072 |
| 0.071 |
| 0.069 |
| 0.067 |
| 0.065 |
| ... |



Додаток В

$r := 1.5$ $i := 1..10$ $\gamma c := 15 \cdot \text{deg}$

$R_i :=$ $\varphi_i :=$ $+$

| | |
|------|------------|
| 1.41 | 81.5 · deg |
| 2.27 | 76.5 · deg |
| 3.11 | 71.5 · deg |
| 3.92 | 66.5 · deg |
| 4.71 | 61.5 · deg |
| 5.46 | 56.5 · deg |
| 6.17 | 51.5 · deg |
| 6.83 | 46.5 · deg |
| 7.44 | 41.5 · deg |
| 8 | 36.5 · deg |

$\mu_i := \text{asin}\left(\frac{r}{R_i}\right)$

$\tau_i := \text{atan}\left(\tan(\mu_i) \cdot \cos(\varphi_i)\right)$

$\gamma N_i := \gamma c - \tau_i$

$\frac{\tau_i}{\text{deg}} =$

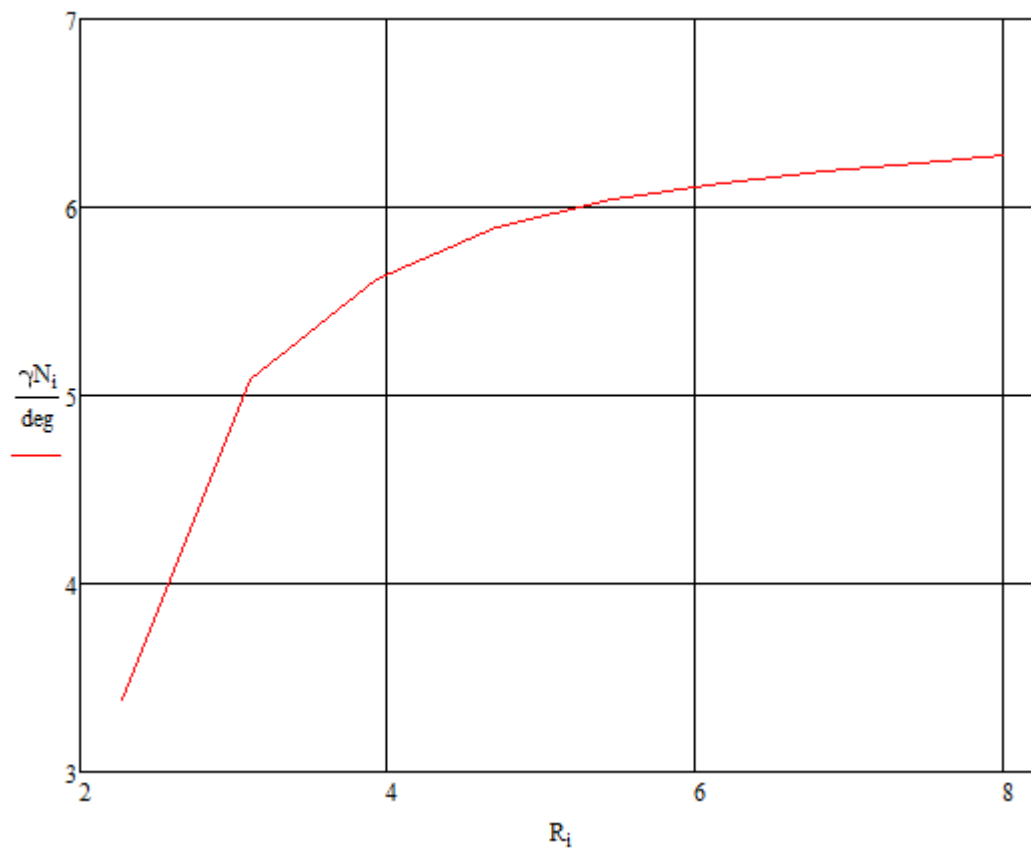
| |
|----------|
| -26.578i |
| 11.614 |
| 9.91 |
| 9.378 |
| 9.107 |
| 8.962 |
| 8.868 |
| 8.808 |
| 8.764 |
| 8.724 |

$\frac{\gamma N_i}{\text{deg}} =$

| |
|------------|
| 15+26.578i |
| 3.386 |
| 5.09 |
| 5.622 |
| 5.893 |
| 6.038 |
| 6.132 |
| 6.192 |
| 6.236 |
| 6.276 |

$\frac{\mu_i}{\text{deg}} =$

| |
|------------|
| 90-20.364i |
| 41.36 |
| 28.837 |
| 22.498 |
| 18.571 |
| 15.946 |
| 14.07 |
| 12.687 |
| 11.631 |
| 10.807 |



$$\alpha := 12 \cdot \text{deg}$$

$$\theta 2_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_i) - \sin(\mu_i)}{\cos(\varphi_i)} \right)$$

$$\theta N_i := \text{atan}(\tan(\theta 2_i) \cdot \cos(\varphi_i))$$

$$\alpha 1_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\theta N_i) \cdot \cos(\mu_i)}{\sin(\varphi_i)} + \sin(\mu_i) \cdot \cot(\varphi_i) \right)$$

$$\frac{\theta 2_i}{\text{deg}} =$$

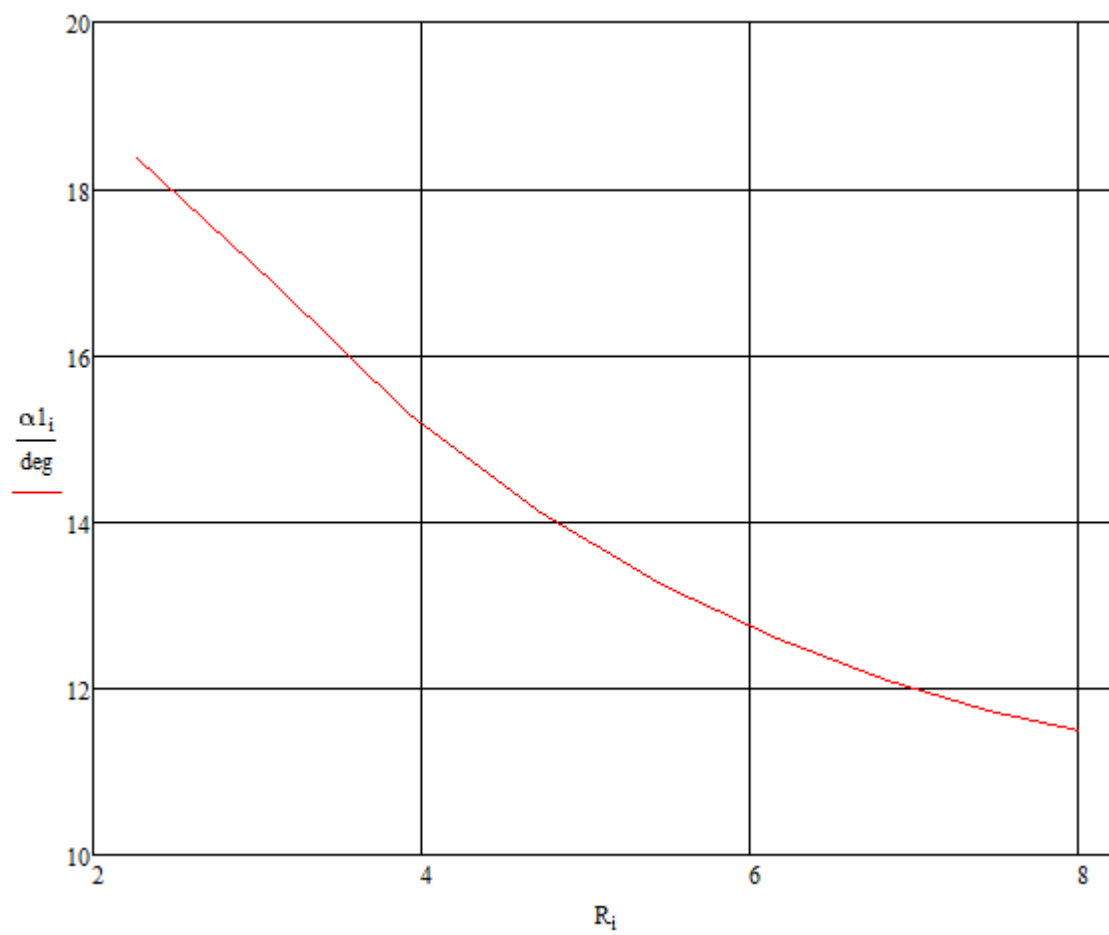
| |
|--------|
| 67.589 |
| 43.89 |
| 25.735 |
| 14.913 |
| 8.699 |
| 4.807 |
| 2.218 |
| 0.364 |
| -1.037 |
| -2.153 |

$$\frac{\theta N_i}{\text{deg}} =$$

| |
|--------|
| 19.719 |
| 12.657 |
| 8.696 |
| 6.062 |
| 4.176 |
| 2.657 |
| 1.381 |
| 0.25 |
| -0.777 |
| -1.731 |

$$\frac{\alpha 1_i}{\text{deg}} =$$

| |
|--------------|
| 9.186+7.388i |
| 18.365 |
| 16.839 |
| 15.289 |
| 14.126 |
| 13.244 |
| 12.586 |
| 12.095 |
| 11.741 |
| 11.502 |

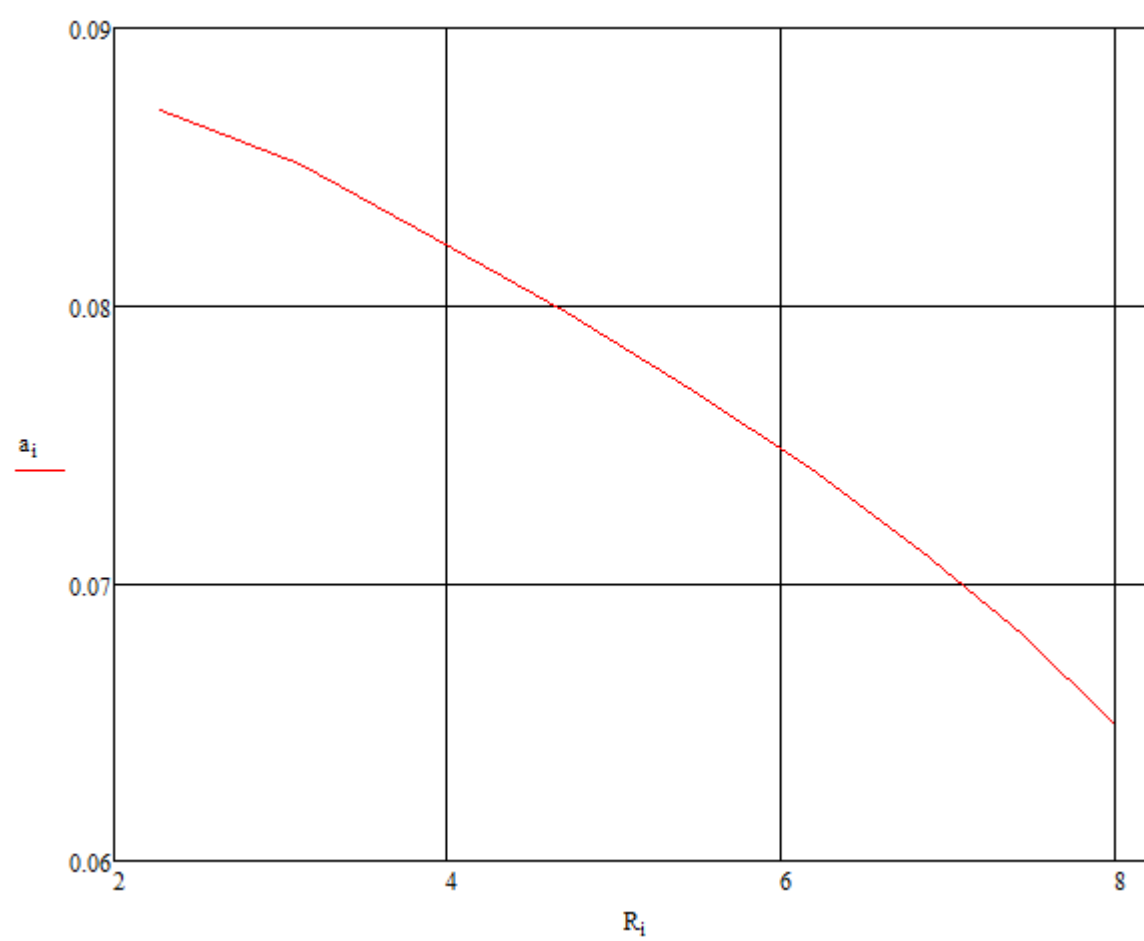


$$s := 0.2$$

$$a_i := \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cot(\varphi_i)}{\cos(\mu_i)} \right)^2}}$$

$$a_1 =$$

| |
|--------------|
| 0.094+0.019i |
| 0.087 |
| 0.085 |
| 0.082 |
| 0.08 |
| 0.077 |
| 0.074 |
| 0.071 |
| 0.068 |
| 0.065 |



Додаток Г

$r := 1.5$ $i := 1..10$ $\gamma c := 15 \cdot \text{deg}$

$R_i :=$ $\varphi_i :=$ $+$

| | |
|------|------------|
| 0.63 | 87 · deg |
| 1.46 | 83 · deg |
| 2.29 | 79 · deg |
| 3.31 | 74 · deg |
| 4.3 | 69 · deg |
| 5.26 | 64 · deg |
| 6.18 | 59 · deg |
| 6.88 | 55 · deg |
| 7.55 | 51 · deg |
| 8 | 48.1 · deg |

$\mu_i := \text{asin}\left(\frac{r}{R_i}\right)$

$\tau_i := \text{atan}\left(\tan(\mu_i) \cdot \cos(\varphi_i)\right)$

$\gamma N_i := \gamma c - \tau_i$

$\frac{\tau_i}{\text{deg}} =$

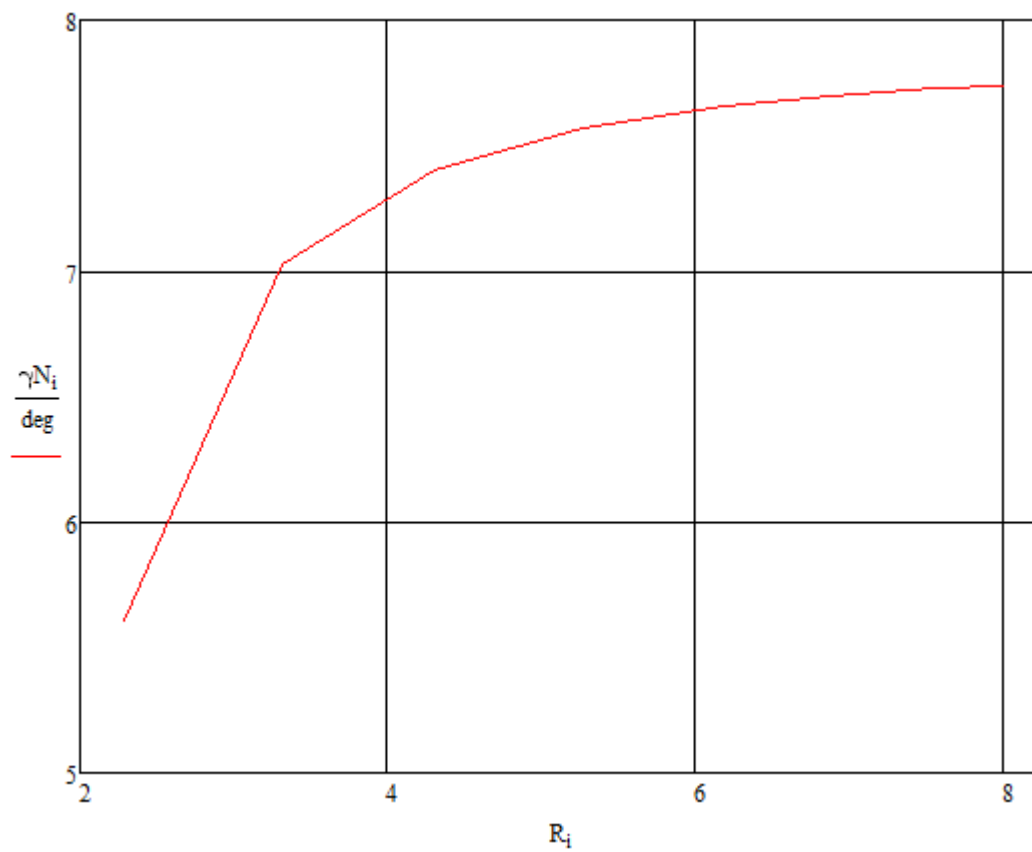
| |
|----------|
| -3.308i |
| -33.914i |
| 9.392 |
| 7.977 |
| 7.598 |
| 7.431 |
| 7.343 |
| 7.302 |
| 7.27 |
| 7.265 |

$\frac{\gamma N_i}{\text{deg}} =$

| |
|------------|
| 15+3.308i |
| 15+33.914i |
| 5.608 |
| 7.023 |
| 7.402 |
| 7.569 |
| 7.657 |
| 7.698 |
| 7.73 |
| 7.735 |

$\frac{\mu_i}{\text{deg}} =$

| |
|------------|
| 90-86.706i |
| 90-13.381i |
| 40.921 |
| 26.947 |
| 20.416 |
| 16.569 |
| 14.047 |
| 12.593 |
| 11.46 |
| 10.807 |



$$\alpha := 12 \cdot \text{deg}$$

$$\theta 2_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_i) - \sin(\mu_i)}{\cos(\varphi_i)} \right)$$

$$\theta N_i := \text{atan}(\tan(\theta 2_i) \cdot \cos(\varphi_i))$$

$$\alpha 1_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\theta N_i) \cdot \cos(\mu_i)}{\sin(\varphi_i)} + \sin(\mu_i) \cdot \cot(\varphi_i) \right)$$

$$\frac{\theta 2_i}{\text{deg}} =$$

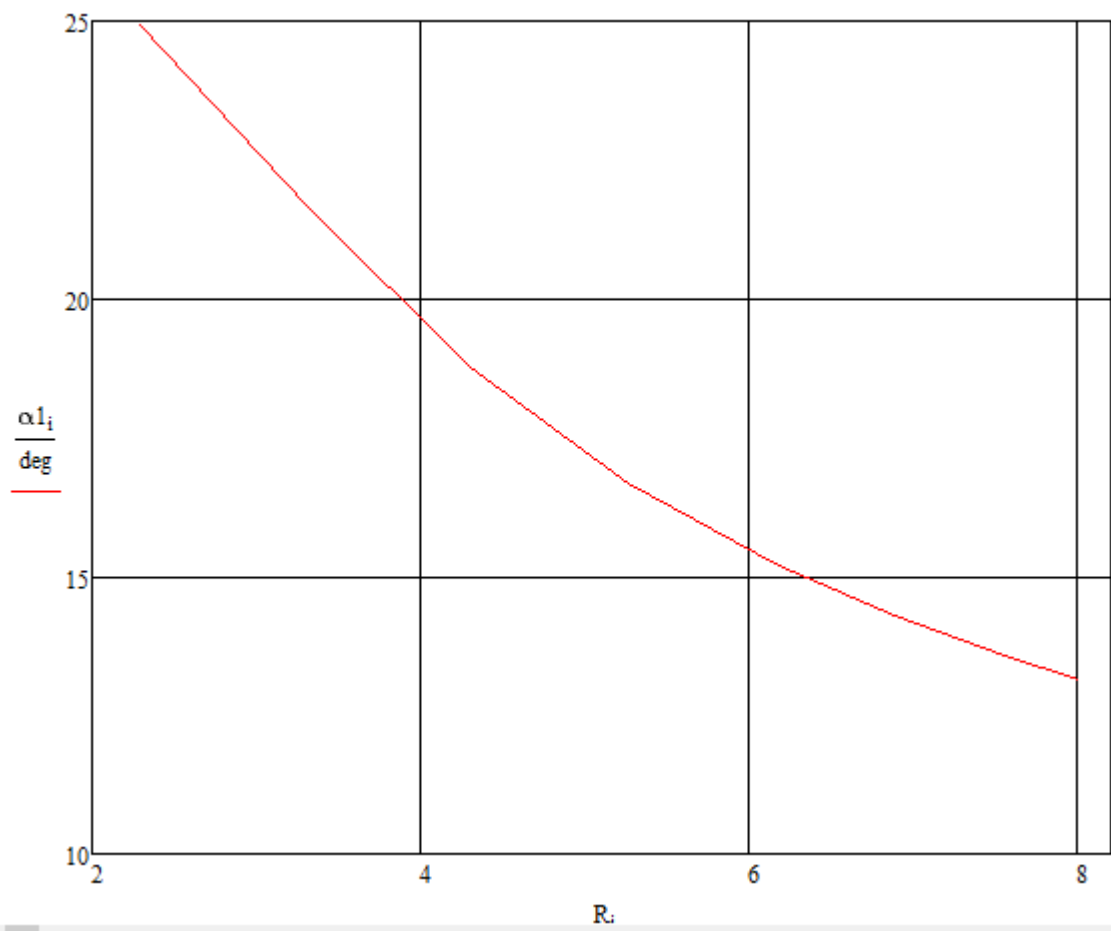
| |
|--------|
| 88.21 |
| 80.175 |
| 66.484 |
| 46.267 |
| 29.758 |
| 18.964 |
| 12.166 |
| 8.482 |
| 5.79 |
| 4.23 |

$$\frac{\theta N_i}{\text{deg}} =$$

| |
|--------|
| 59.16 |
| 35.135 |
| 23.677 |
| 16.072 |
| 11.579 |
| 8.566 |
| 6.336 |
| 4.889 |
| 3.651 |
| 2.828 |

$$\frac{\alpha 1_i}{\text{deg}} =$$

| |
|----------------|
| 89.412+16.209i |
| 7.391+9.506i |
| 24.931 |
| 21.659 |
| 18.757 |
| 16.685 |
| 15.19 |
| 14.283 |
| 13.569 |
| 13.139 |

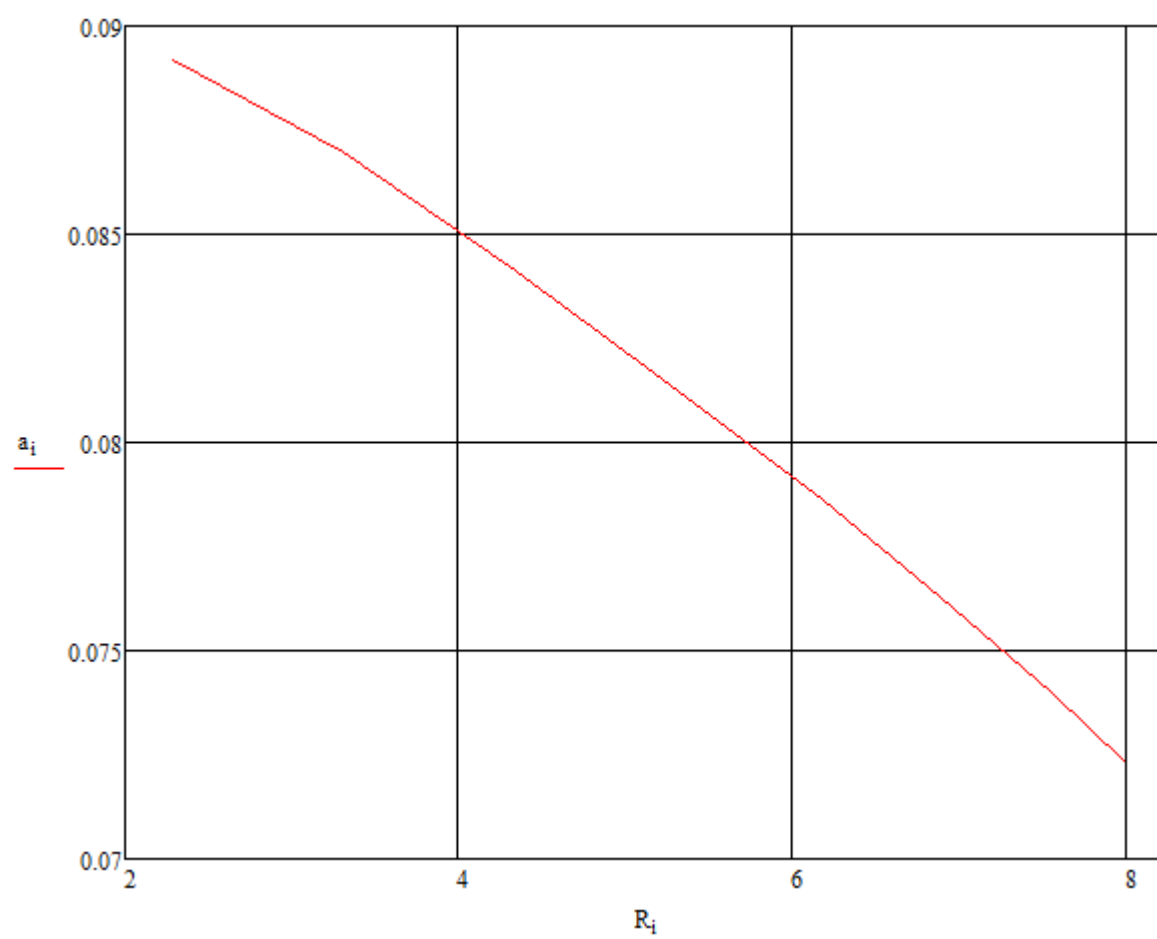


$$s_1 := 0.2$$

$$a_1 := \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cot(\varphi_i)}{\cos(\mu_i)} \right)^2}}$$

$$a_1 =$$

| |
|-----------------------------|
| 0.1+1.212i·10 ⁻³ |
| 0.091+0.022i |
| 0.089 |
| 0.087 |
| 0.084 |
| 0.081 |
| 0.079 |
| 0.076 |
| 0.074 |
| 0.072 |



Додаток Д

$r := 1.5$ $i := 1..10$ $\gamma c := 15 \cdot \text{deg}$

$R_i :=$

| |
|------|
| 1.1 |
| 2.07 |
| 3.03 |
| 3.98 |
| 4.67 |
| 5.36 |
| 6.03 |
| 6.68 |
| 7.31 |
| 8 |

$\varphi_i :=$

| |
|----------|
| 85 · deg |
| 81 · deg |
| 77 · deg |
| 73 · deg |
| 70 · deg |
| 67 · deg |
| 64 · deg |
| 61 · deg |
| 58 · deg |
| 55 · deg |

$\mu_i := \text{asin}\left(\frac{r}{R_i}\right)$

$\tau_i := \text{atan}\left(\tan(\mu_i) \cdot \cos(\varphi_i)\right)$

$\gamma N_i := \gamma c - \tau_i$

$\frac{\tau_i}{\text{deg}} =$

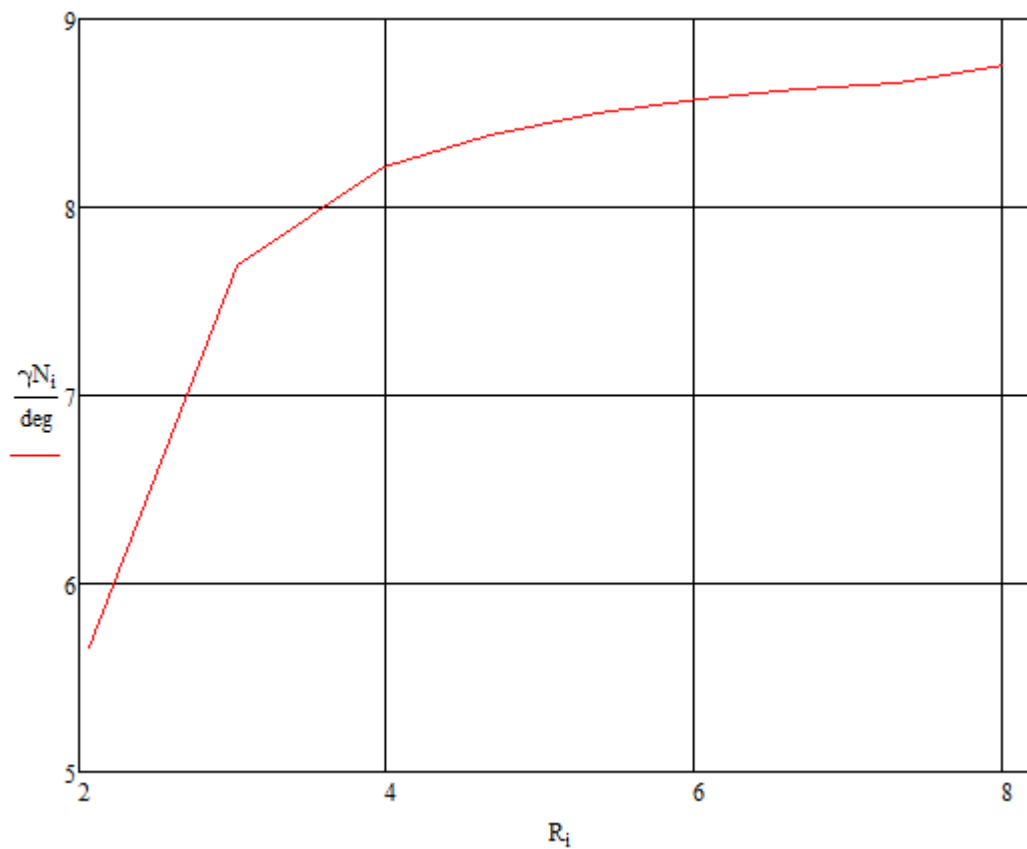
| |
|---------|
| -7.386i |
| 9.341 |
| 7.304 |
| 6.784 |
| 6.617 |
| 6.498 |
| 6.424 |
| 6.375 |
| 6.34 |
| 6.248 |

$\frac{\gamma N_i}{\text{deg}} =$

| |
|-----------|
| 15+7.386i |
| 5.659 |
| 7.696 |
| 8.216 |
| 8.383 |
| 8.502 |
| 8.576 |
| 8.625 |
| 8.66 |
| 8.752 |

$\frac{\mu_i}{\text{deg}} =$

| |
|------------|
| 90-47.491i |
| 46.439 |
| 29.673 |
| 22.141 |
| 18.735 |
| 16.251 |
| 14.404 |
| 12.976 |
| 11.841 |
| 10.807 |



$$\alpha := 12 \cdot \text{deg}$$

$$\theta 2_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_i) - \sin(\mu_i)}{\cos(\varphi_i)} \right)$$

$$\theta N_i := \text{atan}(\tan(\theta 2_i) \cdot \cos(\varphi_i))$$

$$\alpha 1_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\theta N_i) \cdot \cos(\mu_i)}{\sin(\varphi_i)} + \sin(\mu_i) \cdot \cot(\varphi_i) \right)$$

$$\frac{\theta 2_i}{\text{deg}} =$$

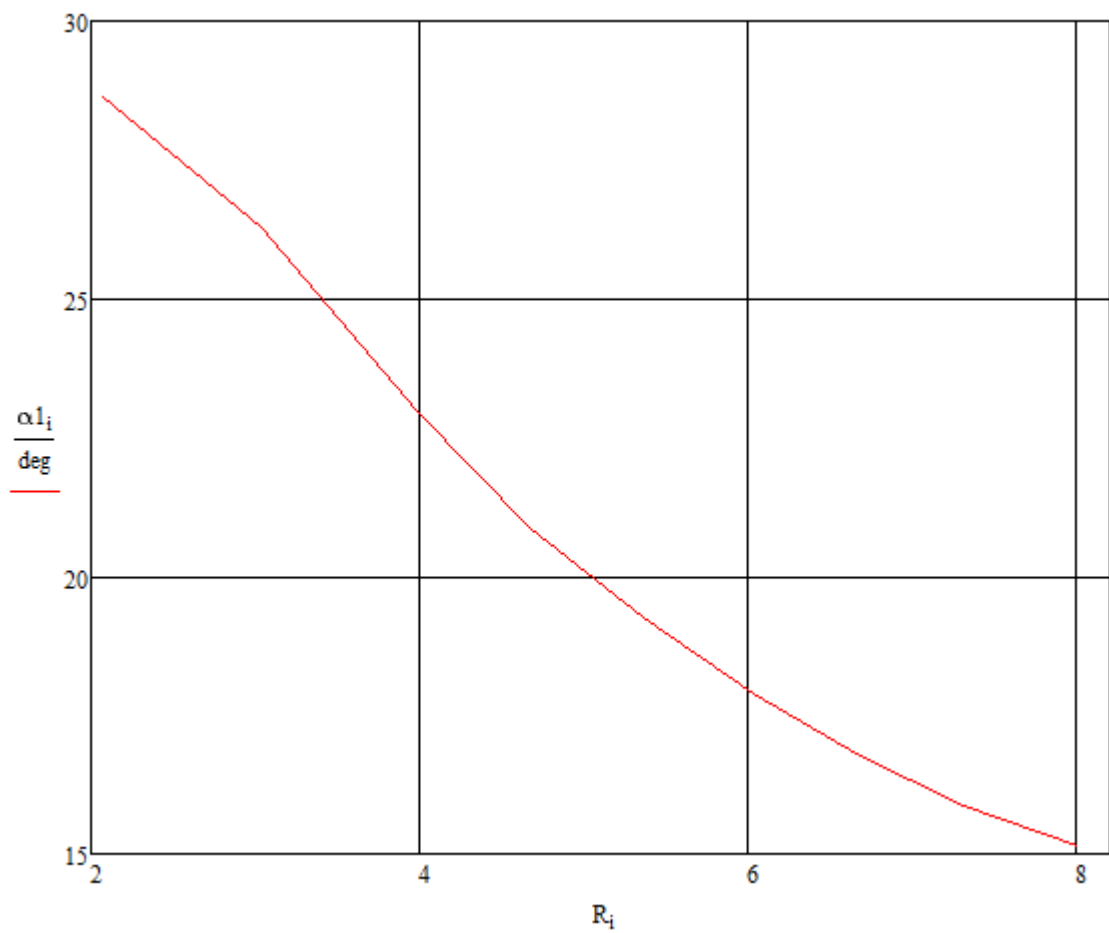
| |
|--------|
| 85.325 |
| 75.782 |
| 62.143 |
| 47.436 |
| 37.537 |
| 29.482 |
| 23.108 |
| 18.148 |
| 14.289 |
| 11.439 |

$$\frac{\theta N_i}{\text{deg}} =$$

| |
|--------|
| 46.827 |
| 31.691 |
| 23.056 |
| 17.659 |
| 14.724 |
| 12.457 |
| 10.595 |
| 9.029 |
| 7.686 |
| 6.62 |

$$\frac{\alpha 1_i}{\text{deg}} =$$

| |
|----------------|
| 44.786+80.636i |
| 28.614 |
| 26.282 |
| 22.957 |
| 20.894 |
| 19.248 |
| 17.895 |
| 16.779 |
| 15.854 |
| 15.134 |

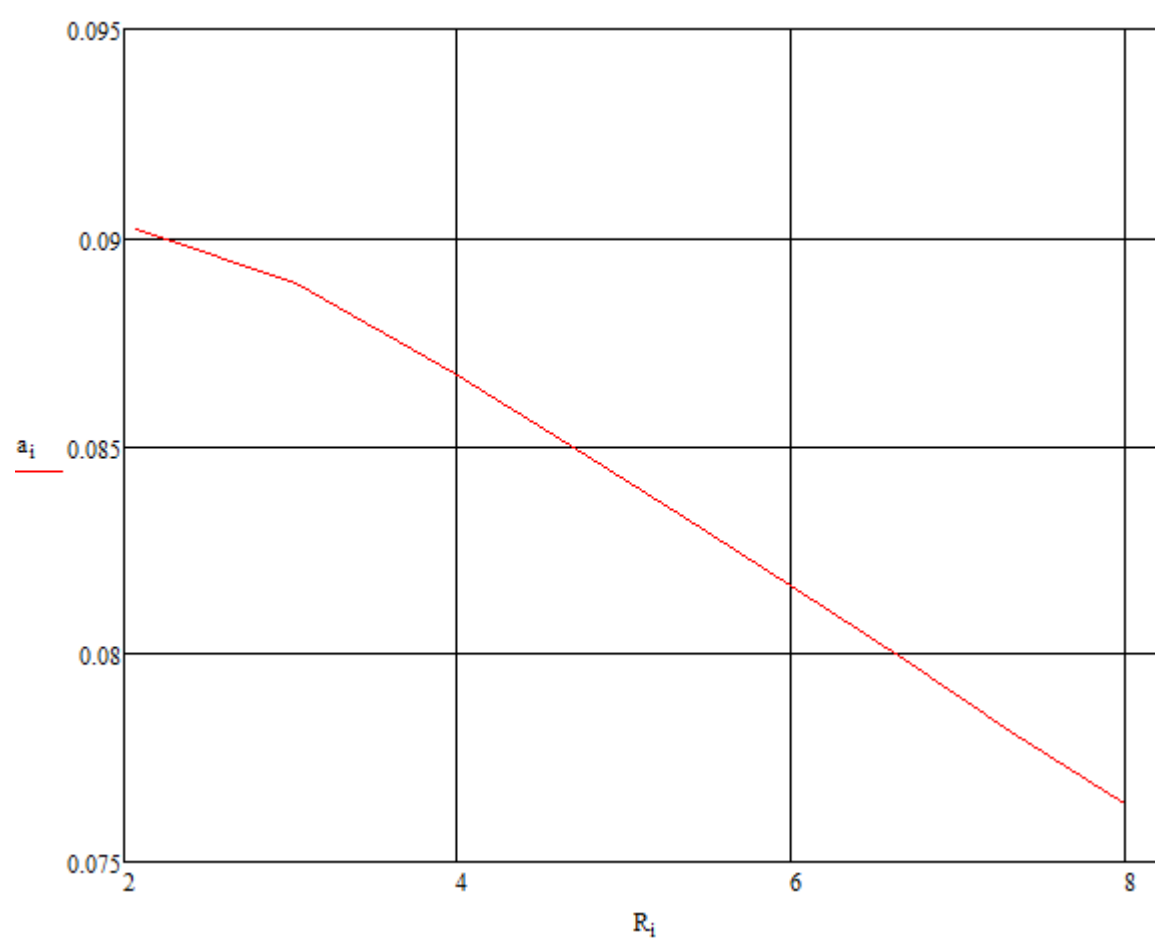


$$s_1 := 0.2$$

$$a_1 := \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cot(\varphi_1)}{\cos(\mu_1)} \right)^2}}$$

$$a_1 =$$

| |
|-----------------------------|
| 0.1+4.692i·10 ⁻³ |
| 0.09 |
| 0.089 |
| 0.087 |
| 0.085 |
| 0.083 |
| 0.082 |
| 0.08 |
| 0.078 |
| 0.076 |



Додаток Е

$$r := 1.5$$

$$i := 1..18$$

$$\gamma c := 5 \cdot \text{deg}$$

$$R_i :=$$

$$\varphi_i :=$$

| |
|------|
| 0.03 |
| 0.12 |
| 0.27 |
| 0.48 |
| 0.75 |
| 1.07 |
| 1.45 |
| 1.87 |
| 2.34 |
| 2.86 |
| 3.41 |
| 4 |
| 4.62 |
| 5.26 |
| 5.93 |
| 6.61 |
| 7.3 |
| 8 |

| |
|----------|
| 5 · deg |
| 10 · deg |
| 15 · deg |
| 20 · deg |
| 25 · deg |
| 30 · deg |
| 35 · deg |
| 40 · deg |
| 45 · deg |
| 50 · deg |
| 55 · deg |
| 60 · deg |
| 65 · deg |
| 70 · deg |
| 75 · deg |
| 80 · deg |
| 85 · deg |
| 90 · deg |

$$\mu_i := \text{asin}\left(\frac{r}{R_i}\right)$$

$$\tau_i := \text{atan}\left(\tan(\mu_i) \cdot \cos(\varphi_i)\right)$$

$$\gamma N_i := \gamma c - \tau_i$$

$$\frac{\tau_i}{\text{deg}} =$$

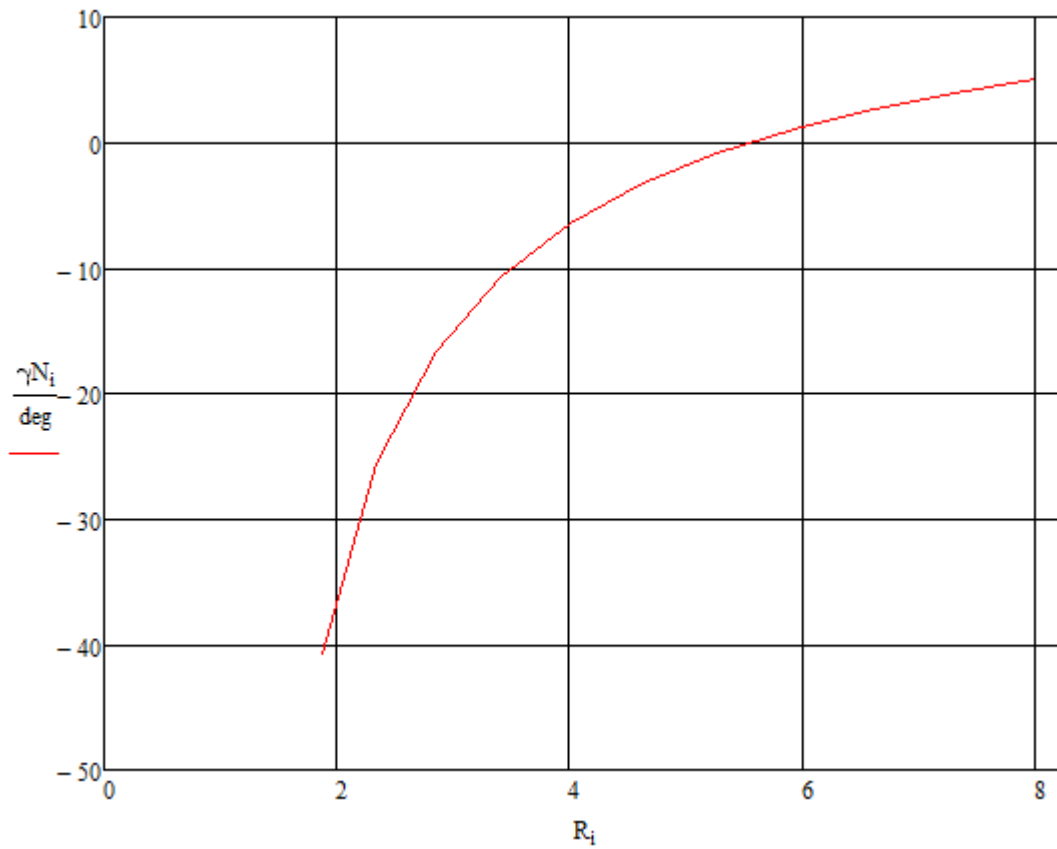
| |
|-------------|
| -180.954i |
| -146.329i |
| -134.631i |
| -157.516i |
| 90-108.408i |
| 90-64.448i |
| 90-18.529i |
| 45.82 |
| 30.565 |
| 21.601 |
| 15.693 |
| 11.434 |
| 8.254 |
| 5.81 |
| 3.871 |
| ... |

$$\frac{\gamma N_i}{\text{deg}} =$$

| |
|--------------|
| 5+180.954i |
| 5+146.329i |
| 5+134.631i |
| 5+157.516i |
| -85+108.408i |
| -85+64.448i |
| -85+18.529i |
| -40.82 |
| -25.565 |
| -16.601 |
| -10.693 |
| -6.434 |
| -3.254 |
| -0.81 |
| 1.129 |
| ... |

$$\frac{\mu_i}{\text{deg}} =$$

| |
|-------------|
| 90-263.851i |
| 90-184.336i |
| 90-137.495i |
| 90-103.473i |
| 90-75.456i |
| 90-49.785i |
| 90-15.004i |
| 53.335 |
| 39.868 |
| 31.633 |
| 26.096 |
| 22.024 |
| 18.946 |
| 16.569 |
| 14.652 |
| ... |



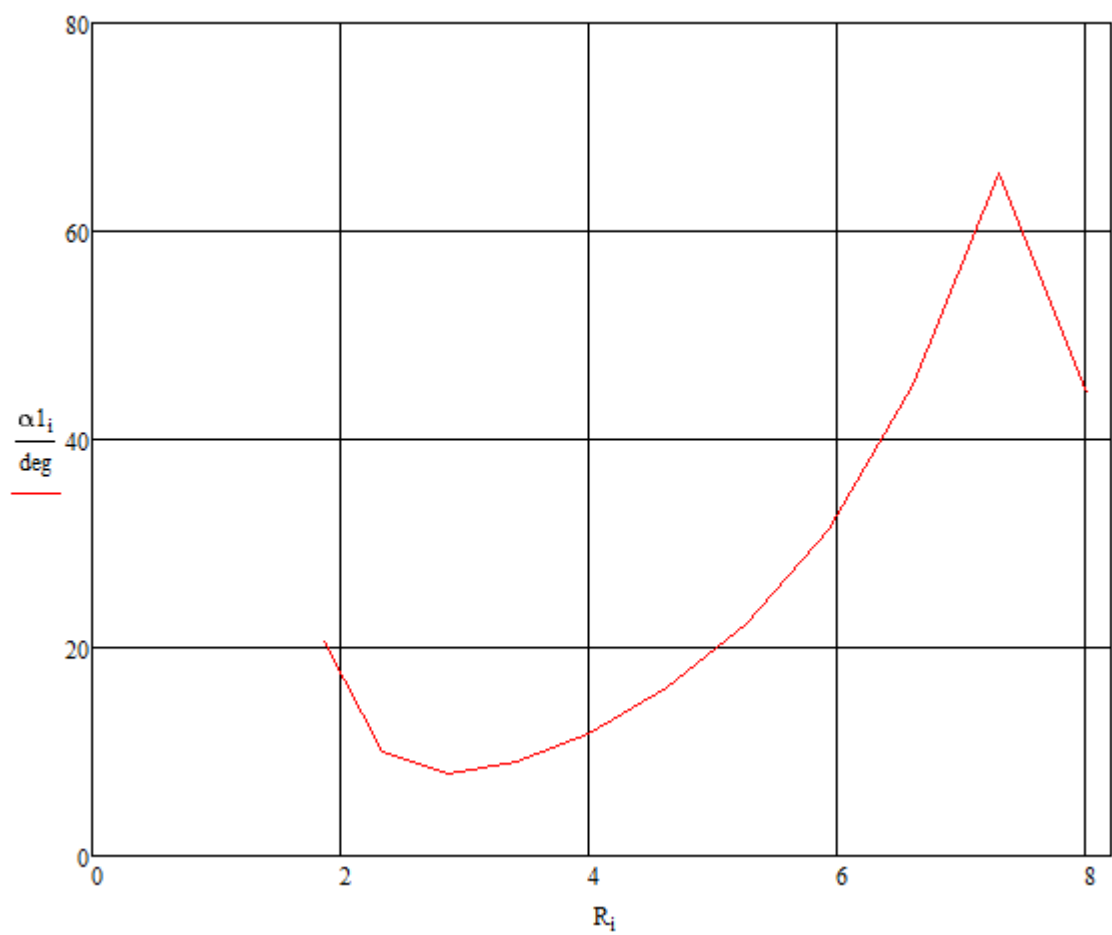
$$\alpha := 12 \cdot \text{deg}$$

$$\theta 2_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_i) - \sin(\mu_i)}{\cos(\varphi_i)} \right)$$

$$\theta N_i := \text{atan}(\tan(\theta 2_i) \cdot \cos(\varphi_i))$$

$$\alpha 1_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\theta N_i) \cdot \cos(\mu_i)}{\sin(\varphi_i)} + \sin(\mu_i) \cdot \cot(\varphi_i) \right)$$

| $\frac{\theta 2_i}{\text{deg}} =$ | $\frac{\theta N_i}{\text{deg}} =$ | $\frac{\alpha 1_i}{\text{deg}} =$ |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| -88.858 | -88.854 | $90-1.998i \cdot 10^{-3}$ |
| -85.482 | -85.412 | $89.995-0.064i$ |
| -80.037 | -79.693 | $89.915-0.478i$ |
| -72.864 | -71.834 | $89.36-1.964i$ |
| -64.509 | -62.252 | $86.866-5.645i$ |
| -55.901 | -51.983 | $78.292-11.476i$ |
| -47.234 | -41.53 | $57.277-7.139i$ |
| -39.156 | -31.955 | 20.63 |
| -31.214 | -23.194 | 9.979 |
| -22.872 | -15.172 | 7.897 |
| -13.369 | -7.763 | 9.01 |
| -0.784 | -0.000 | 11.815 |

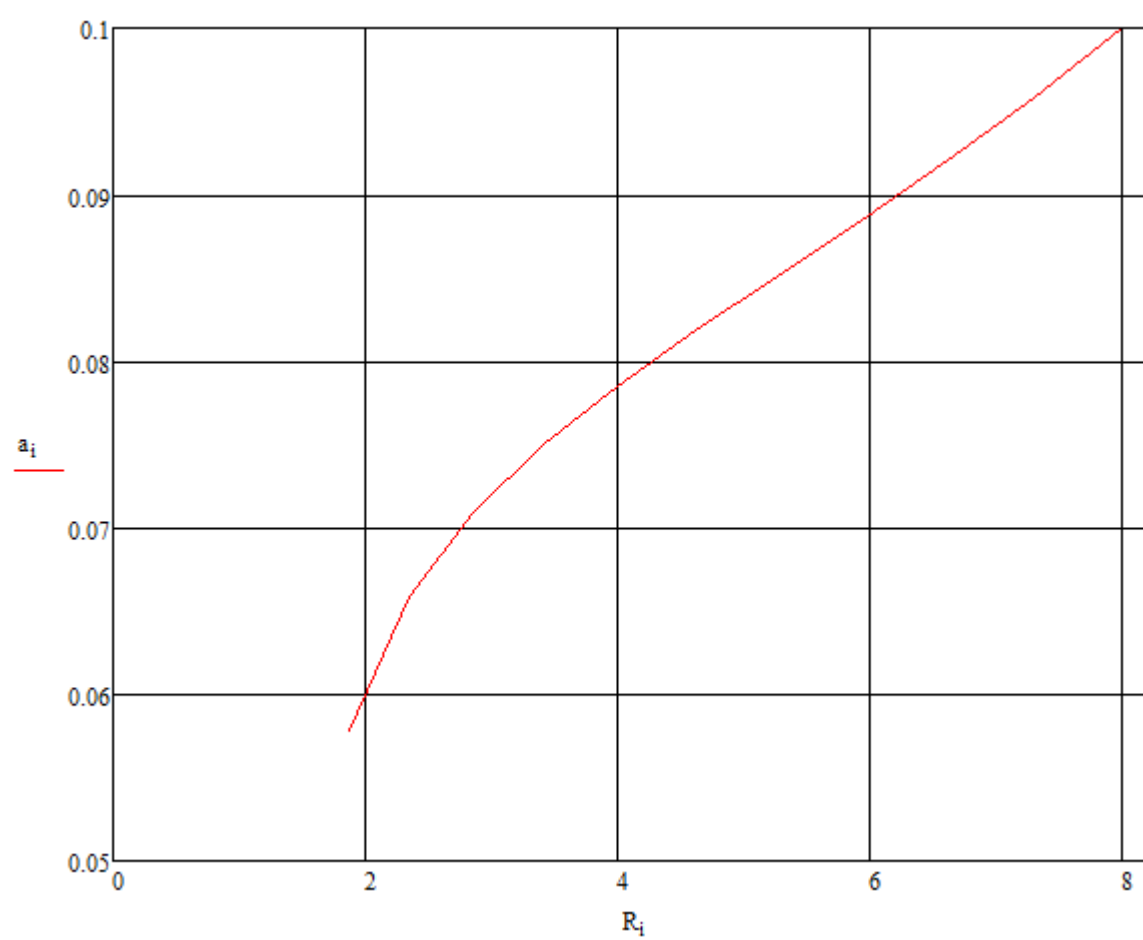


$$s_{\alpha} = 0.2$$

$$a_1 := \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cot(\varphi_1)}{\cos(\mu_1)} \right)^2}}$$

$$a_1 =$$

| |
|--------------|
| 0.098+0.011i |
| 0.093+0.02i |
| 0.087+0.027i |
| 0.08+0.031i |
| 0.072+0.034i |
| 0.061+0.035i |
| 0.033+0.027i |
| 0.058 |
| 0.066 |
| 0.071 |
| 0.075 |
| 0.078 |



Додаток Є

$$r := 1.5$$

$$i := 1..18$$

$$\gamma c := 15 \cdot \text{deg}$$

$$R_i :=$$

$$\varphi_i :=$$

| |
|------|
| 0.03 |
| 0.14 |
| 0.31 |
| 0.55 |
| 0.85 |
| 1.2 |
| 1.61 |
| 2.07 |
| 2.58 |
| 3.11 |
| 3.68 |
| 4.28 |
| 4.89 |
| 5.51 |
| 6.14 |
| 6.77 |
| 7.39 |
| 8 |

| |
|----------|
| 5 · deg |
| 10 · deg |
| 15 · deg |
| 20 · deg |
| 25 · deg |
| 30 · deg |
| 35 · deg |
| 40 · deg |
| 45 · deg |
| 50 · deg |
| 55 · deg |
| 60 · deg |
| 65 · deg |
| 70 · deg |
| 75 · deg |
| 80 · deg |
| 85 · deg |
| 90 · deg |

$$\mu_i := \text{asin}\left(\frac{r}{R_i}\right)$$

$$\tau_i := \text{atan}\left(\tan(\mu_i) \cdot \cos(\varphi_i)\right)$$

$$\gamma N_i := \gamma c - \tau_i$$

$$\frac{\tau_i}{\text{deg}} =$$

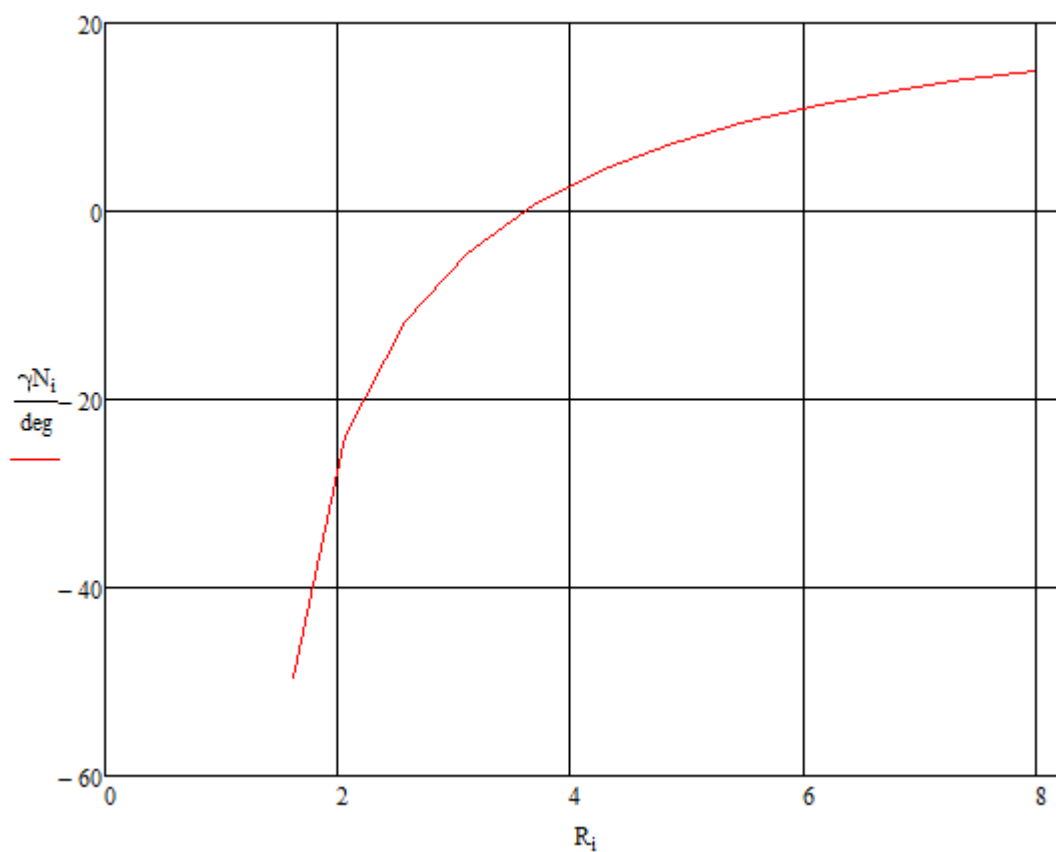
| |
|-------------|
| -180.954i |
| -149.227i |
| -144.617i |
| 90-151.816i |
| 90-87.23i |
| 90-48.894i |
| 64.545 |
| 38.852 |
| 26.807 |
| 19.489 |
| 14.361 |
| 10.598 |
| 7.756 |
| 5.527 |
| 3.731 |
| ... |

$$\frac{\gamma N_i}{\text{deg}} =$$

| |
|--------------|
| 15+180.954i |
| 15+149.227i |
| 15+144.617i |
| -75+151.816i |
| -75+87.23i |
| -75+48.894i |
| -49.545 |
| -23.852 |
| -11.807 |
| -4.489 |
| 0.639 |
| 4.402 |
| 7.244 |
| 9.473 |
| 11.269 |
| ... |

$$\frac{\mu_i}{\text{deg}} =$$

| |
|-------------|
| 90-263.851i |
| 90-175.471i |
| 90-129.428i |
| 90-95.169i |
| 90-66.978i |
| 90-39.714i |
| 68.698 |
| 46.439 |
| 35.549 |
| 28.837 |
| 24.055 |
| 20.516 |
| 17.863 |
| 15.797 |
| 14.14 |
| ... |



$$\alpha := 12 \cdot \text{deg}$$

$$\theta 2_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_i) - \sin(\mu_i)}{\cos(\varphi_i)} \right)$$

$$\theta N_i := \text{atan}(\tan(\theta 2_i) \cdot \cos(\varphi_i))$$

$$\alpha 1_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\theta N_i) \cdot \cos(\mu_i)}{\sin(\varphi_i)} + \sin(\mu_i) \cdot \cot(\varphi_i) \right)$$

$$\frac{\theta 2_i}{\text{deg}} =$$

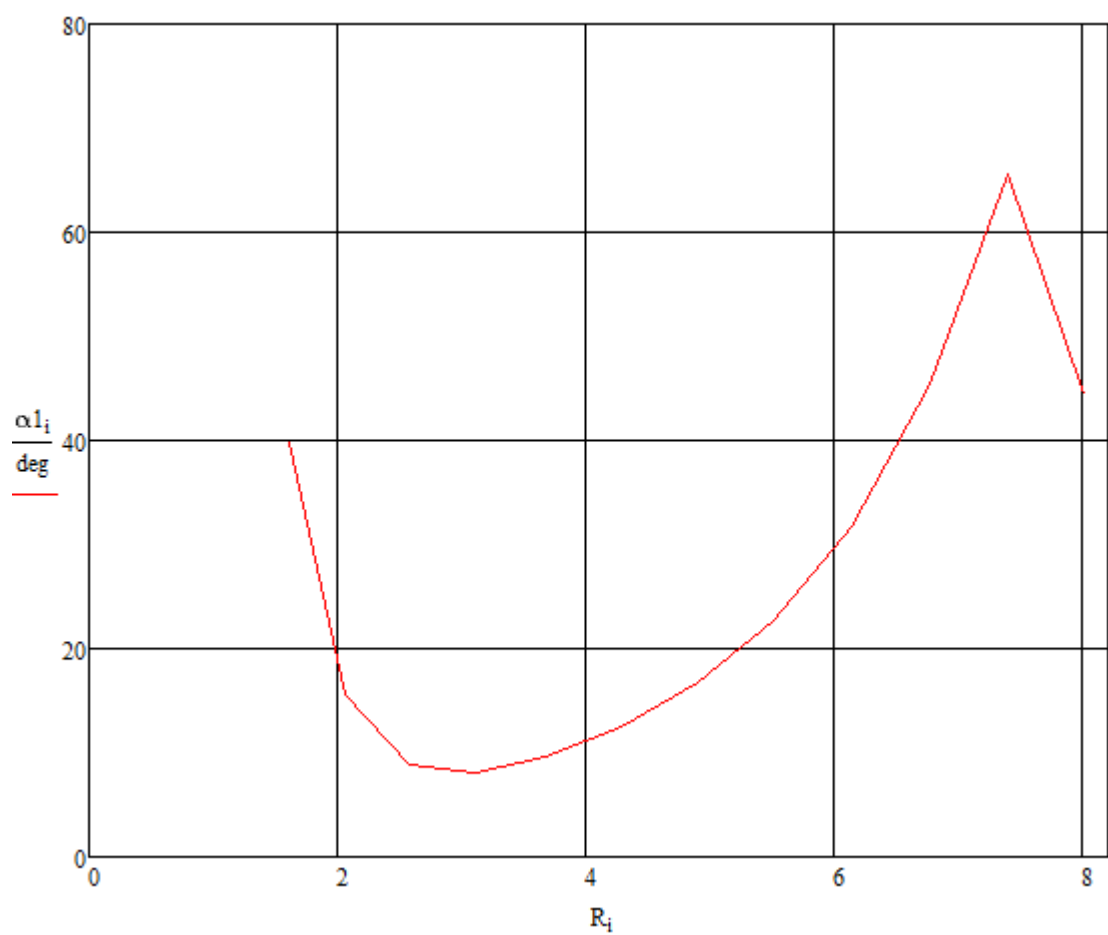
| |
|---------|
| -88.858 |
| -84.73 |
| -78.58 |
| -70.475 |
| -61.448 |
| -52.467 |
| -43.702 |
| -35.493 |
| -27.547 |
| -19.609 |
| -10.282 |
| 2.026 |

$$\frac{\theta N_i}{\text{deg}} =$$

| |
|---------|
| -88.854 |
| -84.649 |
| -78.188 |
| -69.325 |
| -59.02 |
| -48.424 |
| -38.055 |
| -28.647 |
| -20.246 |
| -12.898 |
| -5.94 |
| 1.024 |

$$\frac{\alpha 1_i}{\text{deg}} =$$

| |
|----------------------------|
| 90-1.998i·10 ⁻³ |
| 89.992-0.087i |
| 89.87-0.628i |
| 89.028-2.546i |
| 85.344-6.951i |
| 73.259-11.99i |
| 39.853 |
| 15.532 |
| 8.922 |
| 8.129 |
| 9.616 |
| 12.488 |

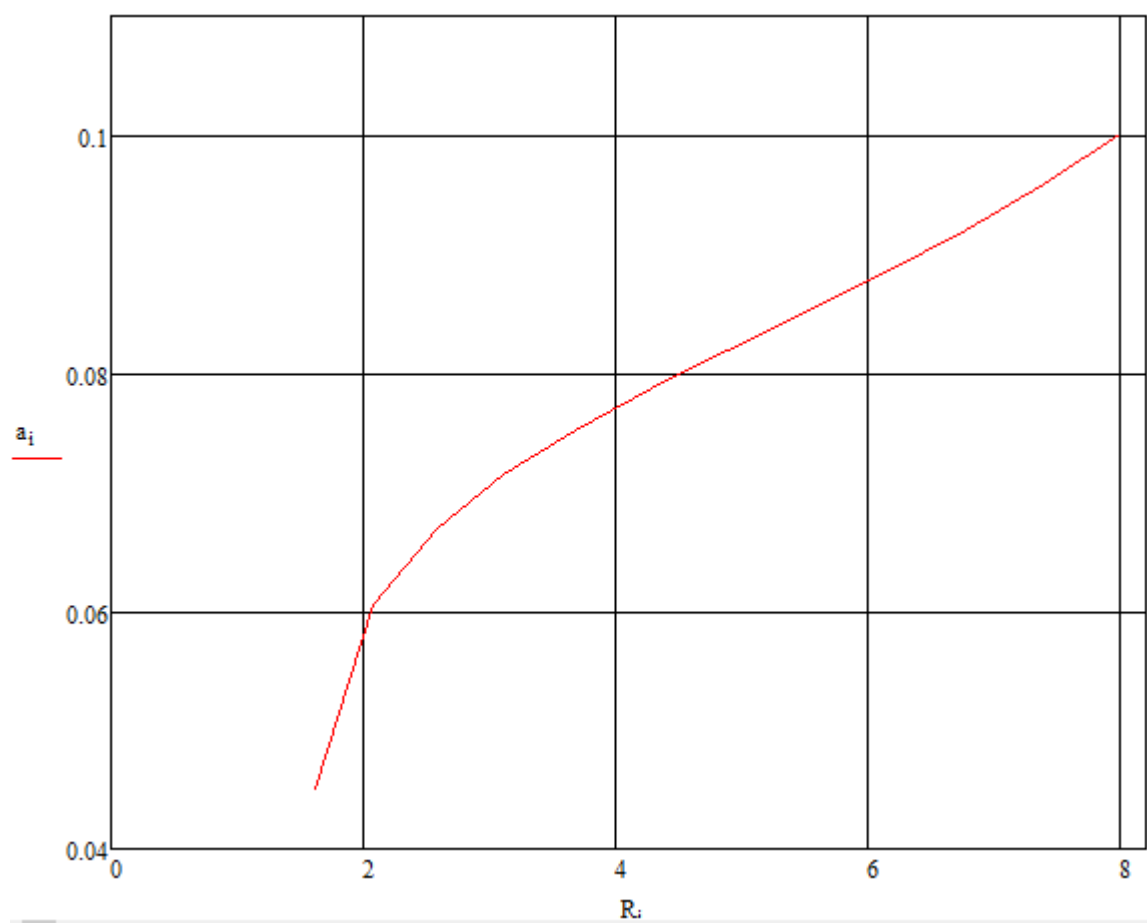


$$s_i := 0.2$$

$$a_i := \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cot(\varphi_i)}{\cos(\mu_i)} \right)^2}}$$

$$a_i =$$

| |
|--------------|
| 0.098+0.011i |
| 0.091+0.023i |
| 0.084+0.029i |
| 0.075+0.033i |
| 0.066+0.035i |
| 0.053+0.035i |
| 0.045 |
| 0.061 |
| 0.067 |
| 0.071 |
| 0.075 |
| 0.079 |



Додаток Ж

$$r := 1.5$$

$$i := 1..18$$

$$\gamma c := 15 \cdot \text{deg}$$

$$R_i :=$$

$$\varphi_i :=$$

| |
|------|
| 0.04 |
| 0.16 |
| 0.36 |
| 0.63 |
| 0.97 |
| 1.38 |
| 1.83 |
| 2.34 |
| 2.88 |
| 3.44 |
| 4.03 |
| 4.63 |
| 5.23 |
| 5.82 |
| 6.4 |
| 6.96 |
| 7.49 |
| 8 |

| |
|----------|
| 5 · deg |
| 10 · deg |
| 15 · deg |
| 20 · deg |
| 25 · deg |
| 30 · deg |
| 35 · deg |
| 40 · deg |
| 45 · deg |
| 50 · deg |
| 55 · deg |
| 60 · deg |
| 65 · deg |
| 70 · deg |
| 75 · deg |
| 80 · deg |
| 85 · deg |
| 90 · deg |

$$\mu_i := \arcsin\left(\frac{r}{R_i}\right)$$

$$\tau_i := \arctan\left(\tan(\mu_i) \cdot \cos(\varphi_i)\right)$$

$$\gamma N_i := \gamma c - \tau_i$$

$$\frac{\tau_i}{\text{deg}} =$$

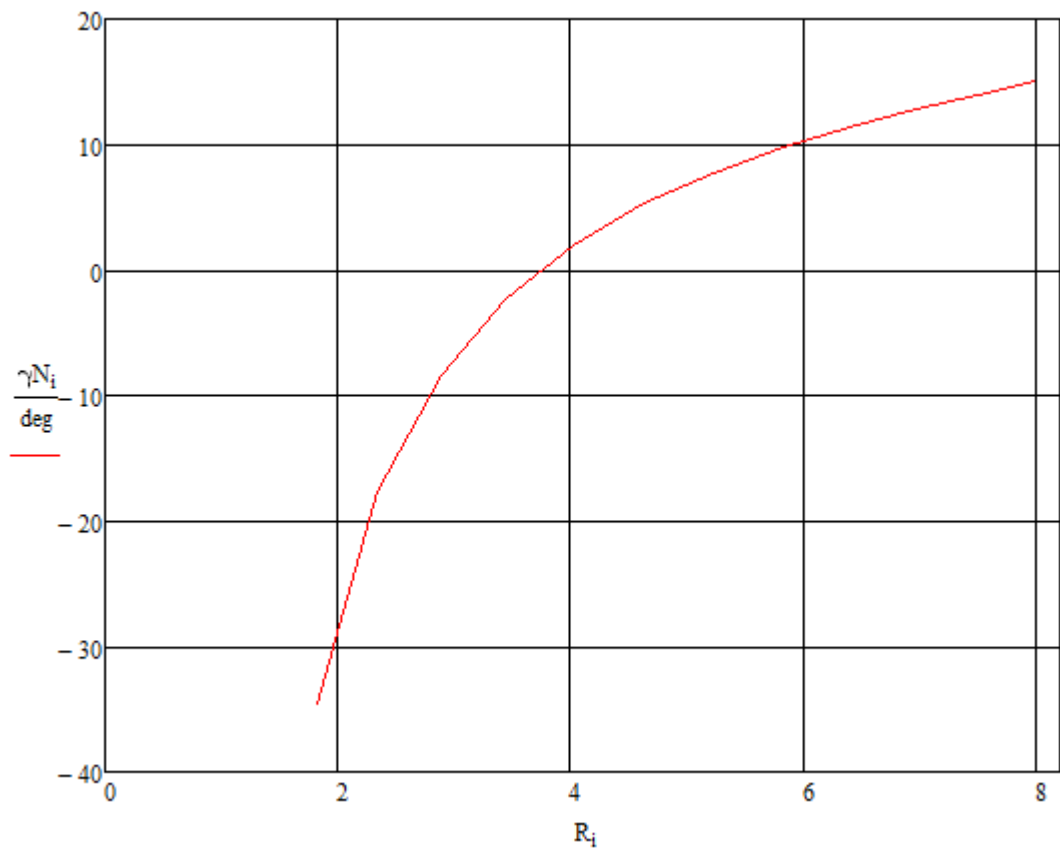
| |
|-------------|
| -182.216i |
| -152.993i |
| -171.611i |
| 90-116.037i |
| 90-70.286i |
| 90-27.955i |
| 49.531 |
| 32.611 |
| 23.336 |
| 17.299 |
| 12.954 |
| 9.716 |
| 7.211 |
| 5.213 |
| 3.571 |
| ... |

$$\frac{\gamma N_i}{\text{deg}} =$$

| |
|--------------|
| 15+182.216i |
| 15+152.993i |
| 15+171.611i |
| -75+116.037i |
| -75+70.286i |
| -75+27.955i |
| -34.531 |
| -17.611 |
| -8.336 |
| -2.299 |
| 2.046 |
| 5.284 |
| 7.789 |
| 9.787 |
| 11.429 |
| ... |

$$\frac{\mu_i}{\text{deg}} =$$

| |
|-------------|
| 90-247.364i |
| 90-167.781i |
| 90-120.639i |
| 90-86.706i |
| 90-57.457i |
| 90-23.724i |
| 55.052 |
| 39.868 |
| 31.388 |
| 25.852 |
| 21.852 |
| 18.903 |
| 16.667 |
| 14.936 |
| 13.555 |
| ... |



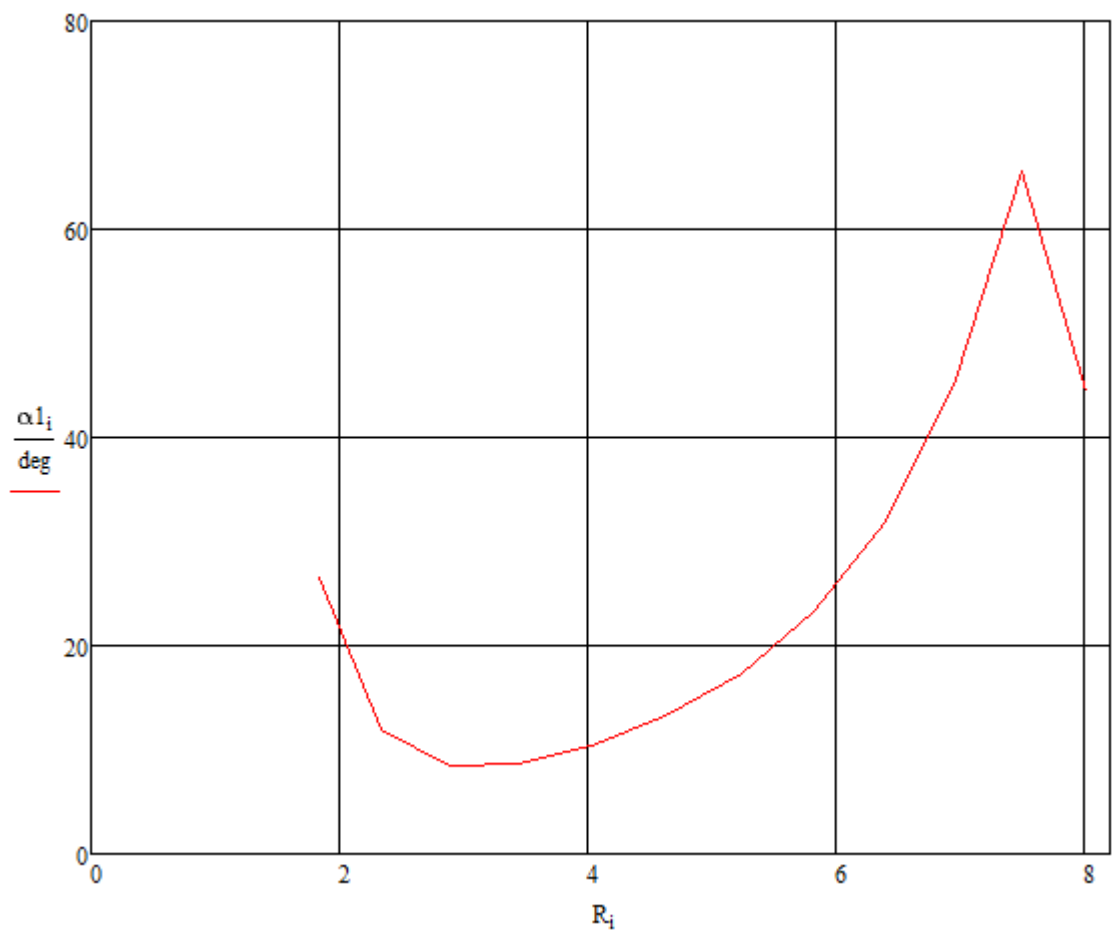
$$\alpha := 12 \cdot \text{deg}$$

$$\theta2_i := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_i) - \sin(\mu_i)}{\cos(\varphi_i)}\right)$$

$$\theta N_i := \text{atan}(\tan(\theta2_i) \cdot \cos(\varphi_i))$$

$$\alpha1_i := \text{atan}\left(\frac{\tan(\theta N_i) \cdot \cos(\mu_i)}{\sin(\varphi_i)} + \sin(\mu_i) \cdot \cot(\varphi_i)\right)$$

| $\frac{\theta2_i}{\text{deg}} =$ | $\frac{\theta N_i}{\text{deg}} =$ | $\frac{\alpha1_i}{\text{deg}} =$ |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| -88.478 | -88.472 | $90-3.552i \cdot 10^{-3}$ |
| -83.979 | -83.887 | $89.988-0.113i$ |
| -76.774 | -76.324 | $89.796-0.843i$ |
| -67.808 | -66.534 | $88.523-3.277i$ |
| -57.945 | -55.357 | $82.927-8.407i$ |
| -48.072 | -43.957 | $65.265-9.335i$ |
| -39.316 | -33.855 | 26.595 |
| -31.131 | -24.829 | 11.942 |
| -23.556 | -17.133 | 8.456 |
| -15.869 | -10.355 | 8.599 |
| -6.825 | -3.927 | 10.362 |
| 5.05 | | 13.242 |

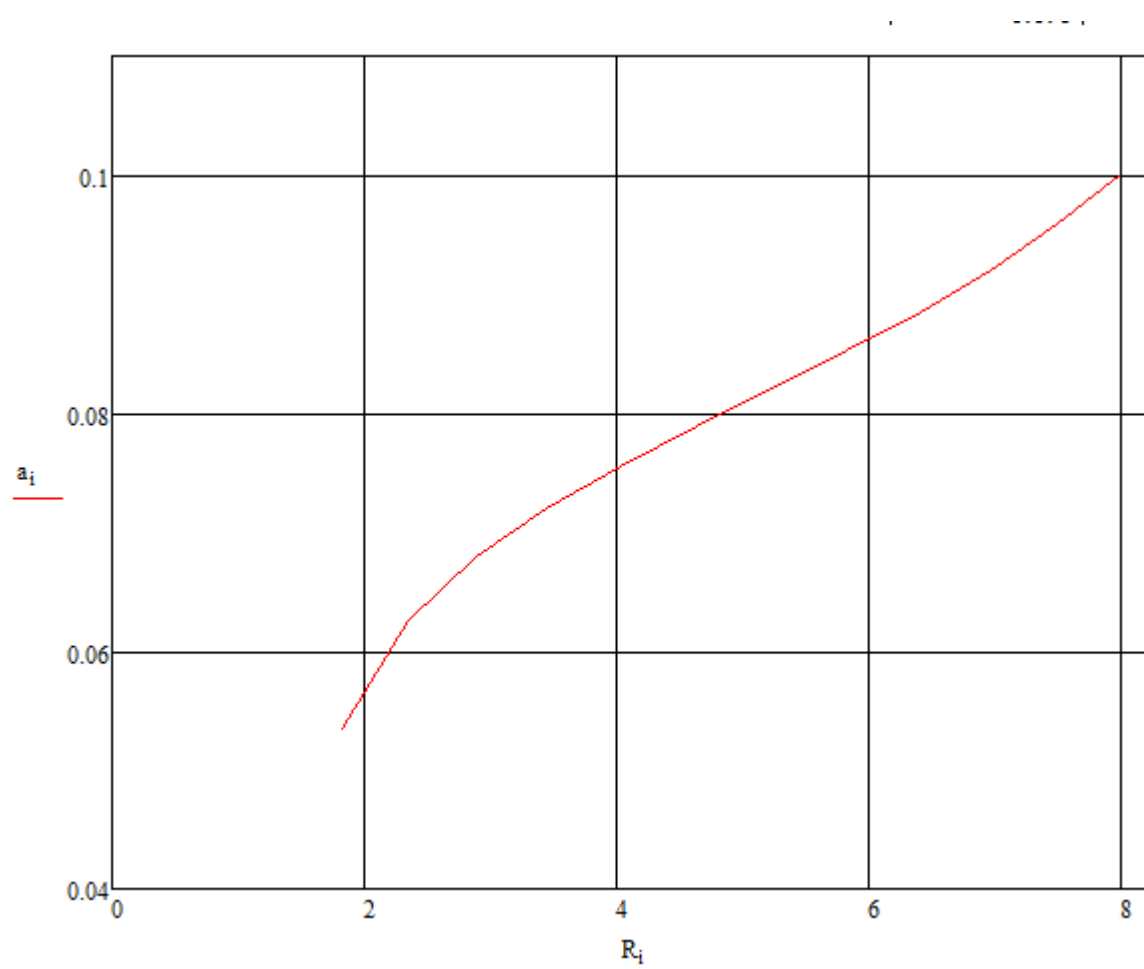


$$s := 0.2$$

$$a_i := \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cot(\varphi_i)}{\cos(\mu_i)} \right)^2}}$$

$$a_1 =$$

| |
|--------------|
| 0.097+0.014i |
| 0.089+0.025i |
| 0.08+0.031i |
| 0.071+0.034i |
| 0.06+0.035i |
| 0.038+0.03i |
| 0.054 |
| 0.063 |
| 0.068 |
| 0.072 |
| 0.075 |
| 0.079 |



Додаток 3

$$r := 1.5$$

$$i := 1..18$$

$$\gamma c := 15 \cdot \text{deg}$$

$$R_i :=$$

| |
|------|
| 0.05 |
| 0.19 |
| 0.43 |
| 0.75 |
| 1.15 |
| 1.62 |
| 2.14 |
| 2.73 |
| 3.3 |
| 3.91 |
| 4.52 |
| 5.11 |
| 5.69 |
| 6.24 |
| 6.74 |
| 7.21 |
| 7.63 |
| 8 |

$$\varphi_i :=$$

| |
|----------|
| 5 · deg |
| 10 · deg |
| 15 · deg |
| 20 · deg |
| 25 · deg |
| 30 · deg |
| 35 · deg |
| 40 · deg |
| 45 · deg |
| 50 · deg |
| 55 · deg |
| 60 · deg |
| 65 · deg |
| 70 · deg |
| 75 · deg |
| 80 · deg |
| 85 · deg |
| 90 · deg |

$$\mu_i := \text{asin}\left(\frac{r}{R_i}\right)$$

$$\tau_i := \text{atan}\left(\tan(\mu_i) \cdot \cos(\varphi_i)\right)$$

$$\gamma N_i := \gamma c - \tau_i$$

$$\frac{\tau_i}{\text{deg}} =$$

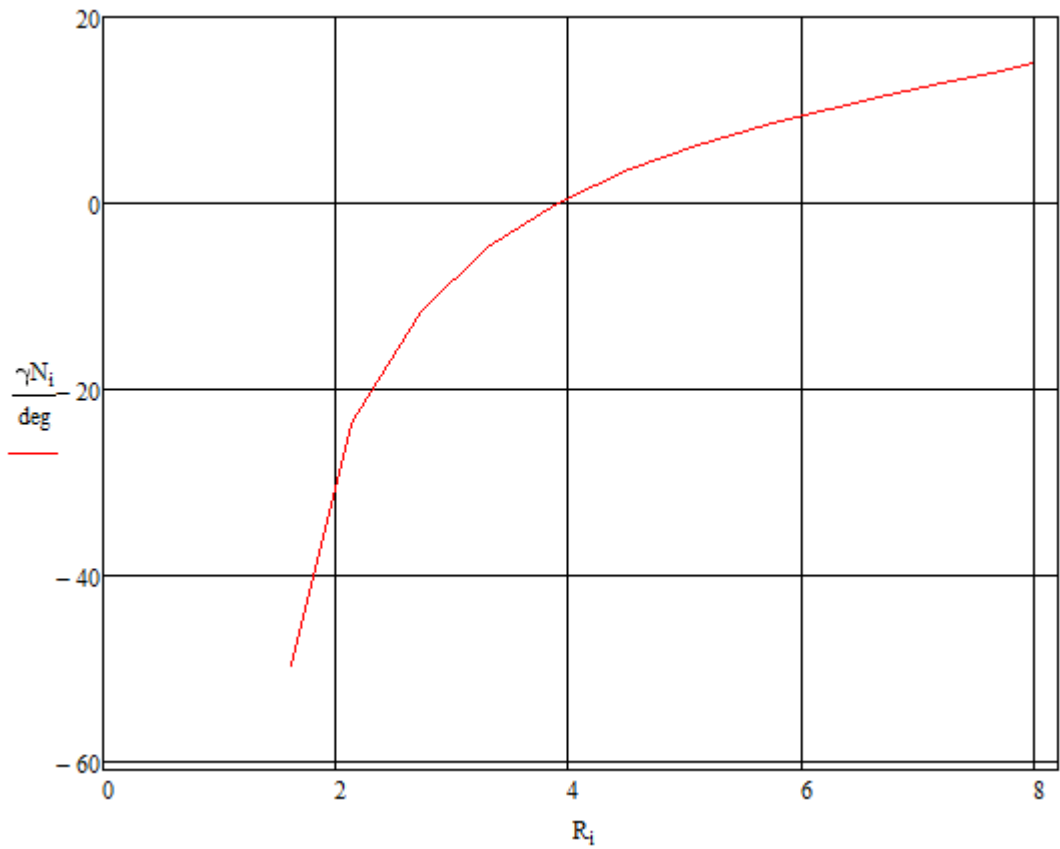
| |
|-------------|
| -183.925i |
| -161.111i |
| 90-157.445i |
| 90-91.649i |
| 90-50.65i |
| 64.778 |
| 38.835 |
| 26.737 |
| 19.842 |
| 14.951 |
| 11.408 |
| 8.729 |
| 6.588 |
| 4.841 |
| 3.381 |
| ... |

$$\frac{\gamma N_i}{\text{deg}} =$$

| |
|--------------|
| 15+183.925i |
| 15+161.111i |
| -75+157.445i |
| -75+91.649i |
| -75+50.65i |
| -49.778 |
| -23.835 |
| -11.737 |
| -4.842 |
| 0.049 |
| 3.592 |
| 6.271 |
| 8.412 |
| 10.159 |
| 11.619 |
| ... |

$$\frac{\mu_i}{\text{deg}} =$$

| |
|-------------|
| 90-234.573i |
| 90-157.868i |
| 90-110.087i |
| 90-75.456i |
| 90-43.639i |
| 67.808 |
| 44.502 |
| 33.329 |
| 27.036 |
| 22.559 |
| 19.382 |
| 17.07 |
| 15.285 |
| 13.909 |
| 12.859 |
| ... |



$$\alpha := 12 \cdot \text{deg}$$

$$\theta 2_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_i) - \sin(\mu_i)}{\cos(\varphi_i)} \right)$$

$$\theta N_i := \text{atan}(\tan(\theta 2_i) \cdot \cos(\varphi_i))$$

$$\alpha 1_i := \text{atan} \left(\frac{\tan(\theta N_i) \cdot \cos(\mu_i)}{\sin(\varphi_i)} + \sin(\mu_i) \cdot \cot(\varphi_i) \right)$$

$$\frac{\theta 2_i}{\text{deg}} =$$

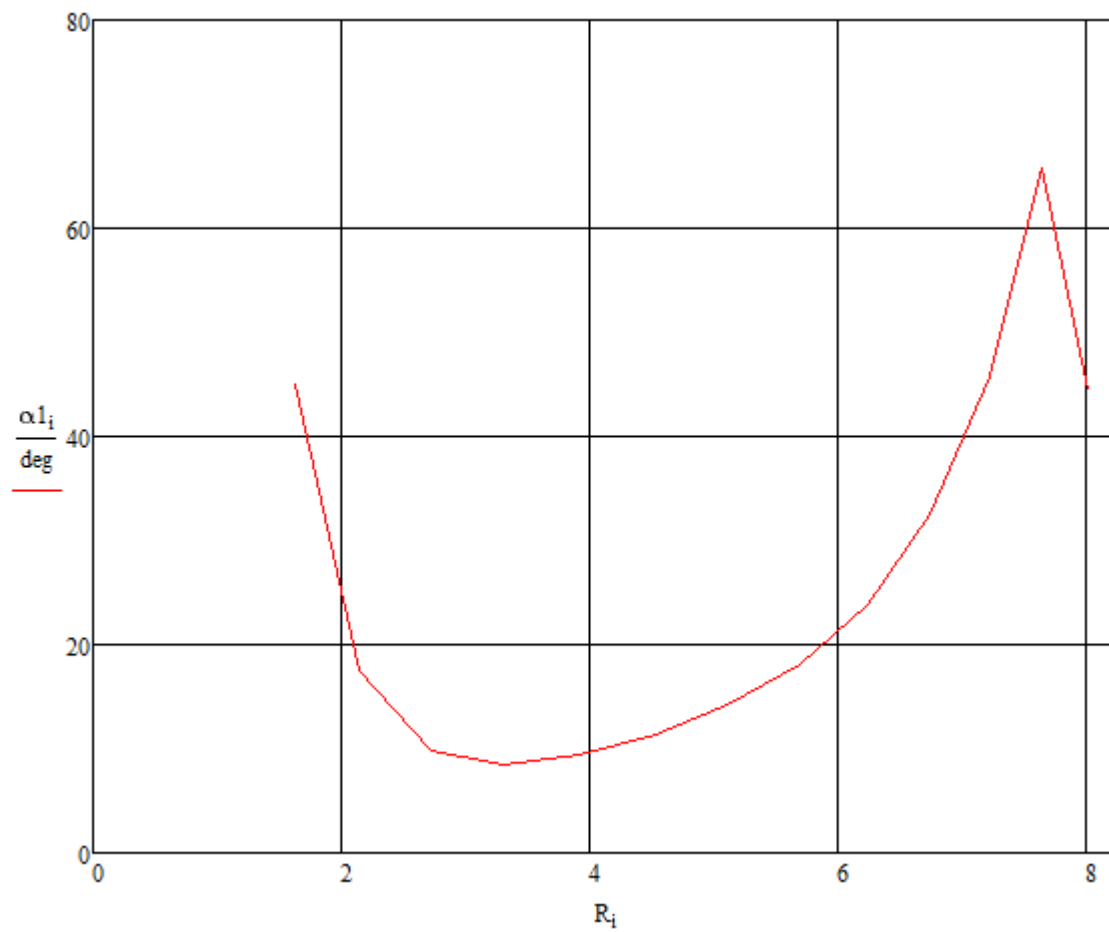
| |
|---------|
| -88.097 |
| -82.856 |
| -74.278 |
| -63.953 |
| -53.058 |
| -42.845 |
| -33.98 |
| -25.847 |
| -18.892 |
| -11.461 |
| -2.824 |
| 8.488 |

$$\frac{\theta N_i}{\text{deg}} =$$

| |
|---------|
| -88.09 |
| -82.747 |
| -73.753 |
| -62.52 |
| -50.317 |
| -38.772 |
| -28.903 |
| -20.36 |
| -13.603 |
| -7.425 |
| -1.621 |
| 4.227 |

$$\frac{\alpha 1_i}{\text{deg}} =$$

| |
|----------------------------|
| 90-5.549i·10 ⁻³ |
| 89.98-0.159i |
| 89.65-1.19i |
| 87.468-4.463i |
| 77.968-9.782i |
| 44.914 |
| 17.459 |
| 9.784 |
| 8.515 |
| 9.359 |
| 11.298 |
| 14.135 |



$$\underline{s} := 0.2$$

$$a_i := \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cot(\varphi_i)}{\cos(\mu_i)} \right)^2}}$$

$$a_i =$$

| |
|--------------|
| 0.095+0.018i |
| 0.086+0.028i |
| 0.075+0.033i |
| 0.064+0.035i |
| 0.05+0.034i |
| 0.042 |
| 0.058 |
| 0.064 |
| 0.069 |
| 0.072 |
| 0.076 |
| 0.079 |

